

Zavaritskii, Aleksandr Nikolaevich
Izuchenie vulkanov Kamchatki



ТРУДЫ ЛАБОРАТОРИИ ВУЛКАНОЛОГИИ, вып. 8

Акад. А. Н. ЗАВАРИЦКИЙ,
Б. И. ПИЙП и Г. С. ГОРШКОВ

ИЗУЧЕНИЕ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ[1]

ВВЕДЕНИЕ

Изучение вулканизма, в особенности деятельности еще не потухших вулканов, имеет исключительное значение для познания явлений, происходящих в доступных и недоступных нам частях земного шара. Здесь мы непосредственно видим проявление энергии, связанной с глубинными областями нашей планеты, а также ближе всего подходим к познанию природы магмы — расплавленных масс, являющихся источником разнообразных химических элементов, с которыми приходится встречаться человеку.

Не только грозное величие вулканических явлений и не только захватывающий научный интерес, который представляют эти редкие явления, влекут к ним исследователя. Необходимость их изучения диктует и холодный расчет естествоиспытателя, ищущего в этом изучении ответ на целый ряд вопросов и общей петрологии, и металлогении, и исторической науки о Земле, прежде всего истории горообразования и связанного с этим процессом возникновения различных минеральных месторождений.

Наконец, знание вулкана и особенностей его деятельности, главным образом ясные представления о путях и формах движения различных рыхлых, жидких и газообразных масс, появляющихся при извержениях, имеют громадную практическую ценность при решении задач по защите от последствий извержений жителей и экономики населенных пунктов, расположенных в окрестностях вулкана.

Как известно, единственной областью в нашей стране, где еще действуют вулканы, является Камчатка и примыкающая к ней цепь Курильских островов. Однако этот район до последнего времени был одним из наименее изученных геологических районов и почти совсем не изучался в вулканологическом отношении. Вслед за знаменитыми экспедициями Крашенинникова (1738—1743), Эрмана (1828), Дитмара (1851—1855), после длительного перерыва Камчатку исследовал К. И. Богданович (1898—1899), которому принадлежит первый цельный очерк о геологии Камчатки и научные сведения о ряде вулканов. В 1908—1911 гг. на Камчатке работали С. А. Конради и Е. В. Круг, исследования которых охватили уже большое число вулканов. О результатах этих исследований мы имеем только краткие отчеты. Часть материалов была обработана и использована для сводных очерков А. Н. Заварицким. Кроме того, участник

---

[1] Настоящая статья представляет сводное описание, основанное на значительной части работ, выполненных Лабораторией вулканологии АН СССР и Вулканологической станцией по исследованию вулканов Камчатки (*Прим. ред.*).

экспедиций 1908—1911 гг. Н. Г. Келль составил впервые точную карту расположения известных тогда вулканов Камчатки. Северную часть полуострова в 1912 г. посетил П. В. Чурин. Результаты этой экспедиции были изложены ее участником С. Ф. Машковцевым, обработавшим собранные материалы.

Новым толчком, привлекшим внимание к камчатским вулканам, было извержение вулкана Авачи в 1926 г. Это извержение наблюдалось и было описано несколькими местными натуралистами (П. Т. Новограбленовым [1], А. Н. Трошиным и Г. Д. Дягилевым).

В конце ноября и начале декабря 1926 г. вулкан стали потрясать взрывы, сопровождавшиеся выбросами вулканического пепла. Выбросы бомб и лапилли были иногда так обильны, что на склоне образовались целые потоки. В середине декабря был замечен отблеск раскаленной лавы в жерле. Периодические выбросы пепла, образующие черные клубы и иногда настоящие пинии, продолжались в течение января и февраля 1927 г. 24 февраля произошло наиболее интенсивное извержение. В темноте было видно, как, подобно фейерверку, выбрасывались светящиеся вулканические бомбы, и затем по склонам вулкана хлынули огненные лавины раскаленного обломочного материала. Настоящий лавовый поток, который был еще горячим, когда на вулкан после извержения поднялись туристы, имел вид языка ничтожных размеров у южного края кратера.

Извержение 1926—1927 гг. не было очень сильным, но оно повелительно напомнило советским ученым о необходимости основательного изучения вулканических явлений, столь важных для разъяснения основных вопросов геологии.

В 1929 г. одновременно б. Геологическим комитетом (ЦНИГРИ, позже ВСЕГЕИ) и Академией Наук СССР было решено организовать систематическое изучение камчатских вулканов. В 1930 г. к этим исследованиям приступило первое из названных учреждений, а с 1935 г. уже ведется работа в Камчатской вулканологической станции Академии Наук СССР, организованной по инициативе и настояниям академика Ф. Ю. Левинсон-Лессинга. Таким образом, с 1930 г. начинается новый этап в изучении вулканов Камчатки. Исследовательская работа ведется и в настоящее время, и результаты ее представляют дальнейший крупный шаг вперед в познании вулканизма полуострова.

ВУЛКАН АВАЧА

Величественная группа действующего вулкана Авачи и расположенной рядом, тесно с ним связанной, потухшей Козельской сопки была исследована в 1931 г. А. Н. Заварицким вместе с несколькими сотрудниками. Предварительно в 1930 г. была составлена топографическая карта и проведена рекогносцировка подступов к вулкану. Трудность передвижения в камчатских зарослях у подножья вулканов, суровые климатические условия, большие высоты и ледники, покрывающие верхние части вулканов, делают необходимой такую подготовку при всяком детальном изучении вулканов Камчатки.

Вулкан Авача — один из наиболее активных камчатских вулканов. В XVIII и XIX вв. отмечено по 10—11 извержений в столетие; в XX в. зарегистрированы извержения в 1901, 1909, 1926—1927, 1937—1938 и 1945 гг. В периоды покоя вулкан находится в состоянии сольфатарной деятельности, выделяя пары и газы, главным образом сернистый газ и сероводород, к которым примешивается также хлористый водород. Вулкан был в этом состоянии и во время исследования в 1931 г.

[1] Описание было дано им совместно с проф. П. Н. Чирвинским, исследовавшим продукты извержения.

Авача представляет собой двойной вулкан, построенный по тому же типу, как знаменитый Везувий с его Соммой. Действующий конус располагается эксцентрически внутри полуразрушенного широкого кратерообразного углубления (кальдеры) на вершине более обширного бывшего конуса соммы. Край этой соммы поднимается на Аваче до высоты 2300 м, а диаметр кальдеры достигает 4 км. Вершина действующего конуса имеет высоту 2725 м (Гипсометрическая карта, 1949) над уровнем моря. Таким образом, вулкан Авача вдвое выше и больше Везувия. В верхней части Авачи встречается ряд ледников. Ледник занимает большую часть пространства между действующим конусом вулкана и соммой. Фирновое поле ледника, разорванное зияющими трещинами, располагается в седловине между Авачей и потухшей Козельской сопкой, другое фирновое поле заполняет широкий кратер этой сопки, являющийся такой же кальдерой, как и у соммы Авачи, но меньшего размера — около 1 км в диаметре.

Изъеденные барранкосами и ледниками древние конусы соммы Авачи и Козельской сопки представляют резкий контраст с геометрически правильным действующим конусом Авачи, по южному склону которого спускается ряд лавовых потоков последних извержений. Эти потоки сложены глыбовой лавой, причем один из них имеет характерную корытообразную форму с краевыми нагромождениями глыбовой лавы. Как можно видеть в размытых частях соммы Авачи, слоистая толща лав и агломератов, ее образующих, пересечена во многих местах дайками. В нижней части склонов соммы, особенно на севере, — небольшие экструзивные куполы.

Вулкан Авача, Козельская сопка, расположенная к юго-востоку от него, и огромный изборожденный глубокими барранкосами конус вулкана Коряки, стоящий к северо-западу от Авачи, расположены на одной трещине северо-западного направления, идущей поперек общего направления камчатских горных хребтов и камчатской вулканической зоны в целом. Самый центр соммы Авачи находится на пересечении поперечной и продольной трещин. Современный конус вулкана несколько смещен к северо-востоку вдоль по продольной трещине. Через центр соммы проходит также третья трещина. Сектор конуса соммы между этой последней трещиной и основным продольным разломом, упомянутым выше, осел вниз, а по сторонам его возникли «сухие реки», которые теперь являются наиболее легкими путями к вершине вулкана.

Исследования выяснили историю образования вулкана. Извержения лав андезитового состава, особенно распространенных, как известно, среди лав вулканов, окаймляющих Тихий океан, и выбросы рыхлых продуктов образовали почти всю массу соммы Авачи, Козельской сопки и Коряки; лишь в последние моменты формирования соммы появляются более основные лавы базальтового состава. Затем следовало образование огромной кальдеры соммы, опускание ее сектора, образующего теперь отроги вулкана — Монастырь и Сарай, и возникновение сухих рек. Следующим характерным эпизодом явились вулканические взрывы, заполнившие обломками светлой пемзы впадину кальдеры и покрывшие ими склоны вулкана. Вероятно, к этому же времени надо отнести образование массивных куполообразных выпячиваний на склонах вулканов, особенно к северо-востоку от Козельской сопки. Относительно богатая кремнеземом вязкая лава этих экструзий не растекалась по склонам, а нагромождалась в виде отдельных куполов. Наконец, внутри кальдеры появился и постепенно вырос современный конус, сложенный из лав и рыхлых продуктов, извергшихся во время пароксизмов его деятельности, и спокойно выделяющий пары и газы в промежутках между ними.

Потоки лав современного действующего конуса изливались главным образом в сторону прорыва соммы. Один из них накрывает накопления

пемзы, заполнившей некогда кальдеру, как это видно в размытом склоне Монастыря. Склоны Авачи, особенно в нижней части, засыпаны рыхлыми продуктами извержений современного конуса и на значительном пространстве представляют безжизненные поля, покрытые лапилли.

Лавы Авачи представлены главным образом гиперстеново-авгитовыми андезитами. Состав нижних потоков соммы мало отличается от состава лав современного конуса. Самые верхние лавы соммы, а также многочисленные дайки, рассекающие ее тело, представлены более основными базальтами, экструзии же, образующие упомянутые выше куполы, наоборот, — более кислыми роговообманковыми андезитами.

Это изменение состава лав можно объяснить длительным процессом дифференциации в очаге. Появление более основных лав в конце образования соммы указывает, вероятно, на то, что в них мы имеем порции магмы вулканического очага, ставшие более основными в его нижней части благодаря процессам гравитационной дифференциации. В течение длительного периода покоя после этого дифференциация зашла довольно далеко и привела к образованию кислой и взрывчатой магмы в верхней части очага. Процесс завершился взрывом и возникновением кальдеры, причем продукты кислой магмы появились на поверхности, с одной стороны, в виде накоплений пемзы, а с другой — в виде куполообразных выпячиваний. Наконец, периодическая деятельность современного конуса доставляет опять малодифференцированные порции магмы в виде лав и пирокластического материала.

Кроме изучения структуры вулкана и состава его лав, были произведены также исследования газообразных выделений и продуктов отложения из фумарол.

Изучение газов вулкана Авачи в 1931 г., явившееся первым исследованием такого рода в истории русской науки, показало относительное богатство этих газов хлористым водородом вместе с преобладающим водяным паром, сероводородом и сернистым газом, что свидетельствует, вероятно, о близости магматического очага, всего за пять лет до того давшего извержение. Температура газов у выходов фумарол варьировала от 90 до 300°. Нагретая почва разложенных андезитов около устья фумарол была покрыта инкрустациями или выцветами сульфатов (галотрихит, пиккерингит, изредка вольтаит), гипса и серы, которая иногда струйками вытекала из устья более горячих фумарол. Около некоторых отверстий фумарол отлагались налеты снежнобелых кристаллических выцветов сассолина. Интересно отметить также отложения дисульфида железа — марказита.

Результаты изучения фумарол Авачи (открытие в них ряда элементов, не отмечавшихся ранее в вулканических газах) заставили приступить к изучению других ярких проявлений фумарольной деятельности на Камчатке, по имевшимся сведениям, особенно интенсивных на вулкане Узон, а также к исследованию камчатских термальных источников. Об этих исследованиях сказано ниже.

ИЗВЕРЖЕНИЯ АВАЧИ в 1937—1938 и 1945 гг.

Вулкан Авача, за минувшие годы после подробного изучения его в 1931 г. приходил в действие два раза. Первый период деятельности (1937—1938 гг.) был изучен Б. И. Пийпом и А. А. Меняйловым, второй (1945 г.)—Б. И. Пийпом, С. Н. Главацким и И. И. Лагуновым.

Признаки наступающих извержений наблюдались еще летом 1937 г., когда туристы, посещавшие кратер, отметили некоторые изменения в его форме. Осенью усилилась деятельность фумарол. В октябре

начались газовые выбросы до высоты 1000—1500 м, продолжавшиеся и далее. 30 января 1938 г. над кратером впервые был замечен огненнокрасный отблеск лавы и наблюдались выбросы раскаленных бомб. Это повторилось 18 февраля, сопровождаясь выбросами значительного количества пепла.

В марте 1938 г. произошли уже крупные извержения. 6 марта с раннего утра кратер начал выбрасывать обильные клубы темного газа, а вслед за ними поднялся мощный столб газов с пеплом, освещенный красным заревом; вверх полетели раскаленные бомбы. Грохот взрывов донесся до города Петропавловска. Днем вулкан успокоился, действовали только фумаролы. Вечером произошел опять ряд взрывов. К ночи извержение достигло кульминационной точки. Столб газов, прорезываемый молниями, поднялся до высоты 1500 м над кратером; из кратера обильно выбрасывались раскаленные бомбы. Около половины одиннадцатого ночи целые лавины рыхлого раскаленного материала покатились по склону. К полуночи огненнокрасное освещение стало слабеть, и вскоре извержение закончилось. Утром вулкан был спокоен; клубы дыма поднимались из кратера, струи газов и пара выходили над выброшенными массами вулканического материала, со склонов вулкана спускались потоки грязи.

Вулкан был спокоен до конца марта, выделяя только газы и пары. 28 марта вечером над кратером опять увидели густые темные клубы газов с пеплом. К половине девятого вечера они озарились красным отблеском лавы. Фейерверком полетели из кратера бомбы, и столб газов, рассекаемый молниями, стал быстро подниматься, достигнув высоты 4—5 км над кратером. В городе отчетливо слышался гул. К 11 часам лавины раскаленного рыхлого материала хлынули по склону. Затем извержение начало ослабевать и к полуночи несколько затихло. Взрывы и извержения раскаленной лавы повторились в 2 часа ночи.

Утром были обнаружены и другие результаты выбросов раскаленных масс: по сухой реке, спускающейся со склона вулкана, пронесся мощный поток грязи на расстояние около 18 км; пеплом были обильно усыпаны конус вулкана и прилегающая местность.

Последующей весной и летом вулкан выделял только обильные и сильные струи фумарольных газов. Время от времени происходили выбросы газов и паров и изредка более интенсивные взрывы, при которых выделялись темные насыщенные пеплом газы, иногда даже с отблесками раскаленного материала.

2 сентября 1938 г. над вулканом опять были замечены огненнокрасные отблески на густых темных облаках. Следующие дни были пасмурными. В один из таких дней, 4 сентября, произошло извержение с излиянием довольно значительного потока лавы. Очевидцем этого извержения был летчик, поднявшийся выше облаков, которые скрывали вершину вулкана от наблюдателей снизу. Около 10 часов утра летчик увидел, как над вулканом начала подниматься темная масса «дыма», покатившаяся затем вниз по юго-восточному склону, оставляя за собой дымный след. Спустившись по склону активного конуса, она остановилась. Надвинувшиеся облака закрыли вулкан. Это было излияние жидкой лавы, которое произошло без сильных эксплозивных явлений.

В сентябре и октябре этого же года за деятельностью вулкана производились систематические наблюдения (Б. И. Пийп). Эти наблюдения показали однообразную картину. Ежедневно можно было видеть, как время от времени с промежутком от 10 минут до 1 часа из кратера вырывался белый клуб газов, принимавший форму «цветной капусты» и достигавший 200—500, редко 1000 м высоты; выбросы сопровождались гулом и грохотом. Обильная примесь пепла к газам наблюдалась редко (всего 6 раз). Одновременно с появлением столба газов (в сентябре) каждый раз

из кратера вываливались глыбы лавы, которые стремительно неслись по склону, оставляя след пыли и увлекая встречающиеся на пути обломки. Днем эти глыбы казались черными, но ночью в темноте было видно, что они раскалены до тусклокрасного цвета.

Количество раскаленной лавы постепенно уменьшалось. Грохот обвалов при извержении заглушался ревом газов, вырывавшихся из кратера.

25 сентября несколько экскурсантов были свидетелями слабого извержения, находясь в самом кратере вулкана. Поднявшись к кратеру, загроможденному глыбами лавы, они стали пробираться между ними в поисках кратерной впадины. На вершине было совершенно тихо, слабо парили фумаролы. Вдруг глыбы начали со звенящим шелестом колебаться и скатываться со своих мест; на склонах вулкана послышался шум обвала. Все пришло в движение. Из глубины среди движущихся глыб тотчас же со страшным ревом и свистом поднялся огромный белый столб газов, стало удушливо жарко и сильно запахло сернистым газом и сероводородом. К счастью, ветер относил в сторону удушливые газы. Сверху посыпались камни. . .

Сильные выделения газа и гул ослабели через одну-две минуты, колебание глыб прекратилось, но над местом, где вырвались газы, еще долго клубилось их облако, а в стороне был слышен шум обвалов.

Перепуганные, с обожженными о горячие глыбы руками, с ушибами, один со сломанной кистью руки, люди выбрались из заваленного глыбами кратера.

Сильное извержение Авачи повторилось в ночь на 27 ноября. Оно было похоже на мартовское извержение. Над вулканом появилось зарево, и одновременно поднялись фонтаны бомб, по склону покатились лавины и вырвался большой столб газов, принявший форму пинии, которую рассекали молнии. Вслед за тем масса паров воды, образовавшихся при соприкосновении раскаленного материала со снегом на склонах вулкана, закрыла вулкан.

Поднимавшиеся на следующий день к вулкану наблюдатели видели, как из кратера выбрасывались бомбы; мелкие бомбы тонули в снегу, а крупные, падая, рвались на куски. По склонам спускались «потоки» бомб, в нижней части которых встречались огромные глыбы (до 10 м^3) еще неостывшей раскаленной лавы. Бомбы весом до тонны попадались на расстоянии 7—10 км от кратера.

Агломератовые потоки на склонах еще долго были горячими. Из отдушин их мощных накоплений выделялись фумарольные газы, которые даже принимались за «паразитные» кратеры.

Таким образом, активная деятельность Авачи, начавшаяся в октябре 1937 г., окончилась в конце 1938 г. Три пароксизмальных извержения начались и закончились продолжительным действием отверстий (бокк) на дне кратера. Сами извержения представляли кратковременные серии огромных выбросов магматических газов, насыщенных пеплом и бомбами. Выброс начинался взрывом и кончался относительно длительным выделением газовой струи. Повидимому, вслед за взрывом кратер наполнялся раскаленной массой шлаков и другого рыхлого материала, которые, переваливаясь через край кратера, давали своеобразные агломератовые лавины — потоки. Изливаясь зимой на склоны вулкана, они расплавляли снег и, быть может, часть ледников и были причиной образований мощных грязевых потоков. Излияние жидкой лавы 4 сентября произошло без сильных эксплозивных явлений.

В 1945 г., после шестилетнего покоя, произошло новое извержение Авачи. На этот раз деятельность вулкана была более кратковременной: она выразилась только в одном очень сильном извержении, после чего вулкан опять перешел в состояние длительного покоя.

Ясных явлений, сигнализирующих наступающее извержение, как и при почти одновременном извержении Ключевской сопки, не наблюдалось. В конце сентября 1944 г. в Петропавловске ощущалось несколько землетрясений, но поставить их в связь с наступающим извержением было трудно, так как землетрясения здесь ощущаются часто и в эпохи покоя вулканов.

Извержение началось 25 февраля 1945 г. около 3 часов дня и закончилось примерно в 10 часов вечера того же дня. Первые взрывы были прерывистыми. В результате начальной серии взрывов над кратером вырос темносерый клубок газов и пепла, похожий на кочан капусты, который, расширяясь, поднимался вверх и ветром быстро относился в сторону. Примерно через 5 минут следовала вторая серия взрывов, которая создавала облако подобного же типа. Затем серии взрывов следовали чаще друг за другом, и вскоре они стали непрерывными. Над кратером вырос высокий темносерый столб газов, насыщенный пеплом, песком, лапилли и крупными раскаленными бомбами. Тут же ветер стал отдувать более «рыхлые» массы газов в сторону, отчего западная, наветренная сторона столба извержения все время оставалась четкой, как бы обточенной. Наибольшее количество раскаленных рыхлых продуктов извержения выпадало на подветренную сторону склона, где лавины их вызвали таяние снега, а ниже — льда глетчера, вследствие чего здесь стал расти второй, параллельный кратерному, но более светлый, похожий на серую вату, столб паров воды и пепла. В кратерном столбе газов вскоре стали сверкать молнии, но они отсутствовали в смежном столбе паров воды.

Примерно через час эруптивная туча достигла высоты около 6000 м над кратером и далеко оттянулась на юго-восток, в сторону океана. Теперь грохот взрывов уже отчетливо слышался в городе, а в туче извержения стали видны многочисленные разнообразно ориентированные линейные молнии. К 7 часам вечера туча далеко протянулась над океаном. Вскоре вулкан стал окутываться парами воды. В 10 часов вечера извержение окончилось.

Интересные наблюдения были сделаны группой людей, находившихся во время извержения в 25 км к востоку от вулкана, в зоне оси пеплопада. В 5 часов вечера здесь наступил совершенный мрак. С тихим шорохом падали крупные песчинки лавы, которых в минуту набиралась целая ладонь. Воздух был насыщен электричеством, отчего острые концы предметов светились нежнофиолетовым светом, были видны траектории падавших тел, и искрилось дыханье фыркавших лошадей. Это были явления тихого электрического разряда, или огни Эльма. Кроме того, в воздухе пахло сернистыми газами, но концентрация их, как потом выяснилось, была небольшая, так как в районе пеплопада уцелели все зайцы и глухари, но погибли во множестве мелкие птички и полевые мыши.

Здесь же, в стержневой полосе движения тучи, в 25 км на восток от кратера, толщина слоя выпавшего пепла вместе с небольшой примесью пемзы оказалась 45 см. От вулкана до берега океана по скромному подсчету выпало не менее $^1/_4$ км^3 рыхлого материала.

Осмотр склонов вулкана показал, что больше всего раскаленного рыхлого материала обрушилось на подветренную сторону конуса. Лавины этого материала спустились до высоты 1500 м, т. е. почти на 2,5 км по склону. Гораздо дальше пронеслись потоки талой воды, которые изрезали новыми руслами верховья Халахтырской сухой реки, но в целом они были более слабыми, чем такие же потоки предшествующего извержения. Лавины рыхлого материала, спустя месяц после извержения, все еще парили и имели температуру около 80°. По сравнению с такими же лавинами 1938 г. они были менее значительными. Признаков излияния на склоны жидкой лавы не было обнаружено.

В течение месяца после извержения вулкан продолжал густо дымить, но тех характерных ритмических гейзероподобных выбросов газа, которые наблюдались в прошлую деятельность в промежутках между извержениями, на этот раз не было. Отсутствие их указывало на прекращение деятельности вулкана на долгий срок до очередного периода активности.

Лава, выброшенная при этом извержении, по составу не отличается от других лав современных извержений Авачи; заметно более кислой является пемза, по составу более близкая к пемзе соммы, но отличающаяся от последней своей структурой и свежестью.

ВУЛКАН УЗОН

Вторым вулканом, изученным в 1933 г. Б. И. Пийпом, был Узон, расположенный в 160 км к северу от Авачи.

Узон представляет вулканическую депрессию — кальдеру размером около 10 км в поперечнике. Наиболее высокие края кальдеры, которые позволяют видеть вулкан издалека, находятся в ее западной половине. Внешние склоны этой части кольца кальдеры пологие, со всеми признаками склонов бывшего конуса вулкана. В других местах внешних склонов почти нет: они сливаются с поверхностью дола, на котором расположен вулкан. Внутренние склоны кальдеры большей частью крутые, каменистые, сильно изрезанные барранкосами и поросшие кустарником. Дно кальдеры в западной части ровное, занято тундрой и небольшими реликтовыми озерками. В восточной части оно более возвышенное и холмистое. В кальдеру впадает много мелких речек, разрезающих ее дно по всем направлениям. Из кальдеры вытекает речка Шумная, которая достигает океана.

Стенки западной половины Узона сложены из перемежающихся потоков базальта и слоев агломератов и туфов. С восточной стороны кальдеры на этих породах лежит мощный поток свежего стекловатого риолита, а вдоль ее южной кромки — туфовая андезитовая лава.

Почти весь гребень кальдеры занят довольно мощным тонкослоистым покровом пемзовых лапилли. На внешних склонах вулкана к ним в большом количестве примешаны эксплозивные обломки и глыбы лавы. Риолитовая лава кое-где выступает из-под пемзы в восточной части кальдеры. В северо-восточном углу ее крутые берега и ближайшие окрестности озера сложены из свежих базальтовых шлаков и бомб, которые, наоборот, покрывают пемзовые отложения. В западной половине кальдеры на дне ее обнажаются, кроме того, полнокристаллические зернистые базальты, представляющие, повидимому, остаток инъекции в тело бывшего конуса вулкана; на стенках кальдеры здесь много жил базальта.

История образования вулкана представляется в таком виде. Сначала возник вулкан, сложенный андезито-базальтами и базальтами, перемежающимися с агломератами того же состава. Затем, вероятно, сбоку прорвалась масса кислой лавы, излияние которой сопровождалось мощными взрывами. Один из гигантских взрывов снес всю массу горы, и на ее месте возникла огромная кальдера, в которой образовалось озеро, впоследствии вытекшее (в результате промыва стены кальдеры) и оставившее после себя небольшие остаточки озера. Пароксизм вулканической деятельности повторился недавно еще раз; его следы — круглое глубокое озеро в восточной части и небольшой шлаковый конус.

Узон привлекал исследователей широкой деятельностью фумарол, горячих источников, грязевых вулканчиков. После того как на Аваче был обнаружен сассолин, стали проводить исследования и в других местах поствулканических эксгаляций. В кальдере Узона находятся целые поля фумарол, грязевых котлов и ключей. Химические исследования вод,

произведенные В. Е. Кутейниковым, показали их разнообразный состав. Встреченные типы горячих источников, вплоть до кипящих, весьма разнообразны (кислые, щелочно-соляные и сероводородные). Фумаролы и источники Узона сопровождаются инкрустациями (подобными изученным на Аваче) и ничтожными отложениями серы.

Фумаролы и горячие ключи находятся в северо-западной части кальдеры, где обособляются три главных фумарольных поля. В западном из них на глинистой почве разбросаны фумаролы, грязевые источники и грязевые вулканчики. Фумаролы приурочены к повышенным местам, грязевые ключи — к склонам, а грязевые вулканчики — к самым низким участкам. Фумаролы представляют выход слабых струй паров и газов либо из небольших конусообразных глиняных бугров (старые грязевые вулканчики), либо из расщелин в разложенной коренной породе. Отверстия фумарол были обычно инкрустированы или самородной серой, или цветной мозаикой нежных гигроскопических выцветов сульфатов; около одних преобладала сера, около других — сульфаты.

В отличие от западного поля фумарол в среднем поле не было видно свежих отложений серы, алунита, гипса и других сульфатов. Сера и, быть может, алунит и гипс входят в состав каолинизированных масс. Для восточного поля очень характерны площадки, активные на всей своей поверхности. Эти площадки, расположенные по берегам Теплой речки, покрыты бесчисленным множеством как бы проколотых крошечных отверстий, из которых через тонкий поверхностный слой воды с сильным клокотанием и брызгами выделялся горячий пар; в холодные дни такие площадки сплошь парят. По краям их наблюдаются горячие грязевые озерки с белесоватой водой, мутной от взвешенных тонких частиц серы.

ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Связь горячих источников Камчатки с вулканами, так отчетливо выступающая на Узоне, совершенно очевидна и на всем полуострове, и как изучение вулканов не может быть оторвано от изучения терм, так и обратно — изучение последних невозможно без изучения вулканов. Когда в 1931 г. исследовался вулкан Авача, особый интерес с этой стороны представляли Налачевские горячие ключи, которые были нами тогда же изучены. Налачевские ключи находятся к северу от вулкана Авача, между ним и Жупановской сопкой. Эти источники выходят из толщ лавовых потоков андезита и довольно богато минерализованы (4 г солей на 1 л воды). Вода по составу углекисло-сульфатно-соляная. Температура ее 72°.

В 1934 г. Б. И. Пийпом, Д. К. Александровым и Г. Н. Проферансовым были изучены 11 групп термальных источников в разных частях полуострова. Материалы этих исследований, а также рассеянные в литературе сведения о других горячих ключах были изложены и обобщены Б. И. Пийпом в сводной работе, охватывающей все известные на 1934 год горячие источники полуострова.

Термальные источники Камчатки расположены большей частью в южной и восточной частях полуострова и обычно в малодоступных местах; более 80% их находится на расстоянии более 20 км от населенных пунктов. В общем термальные источники отличаются большим дебитом и высокой температурой; преобладают в основном горячие ключи с температурой выше 50°.

Обычно камчатские термальные ключи встречаются в долинах рек и выходят чаще всего на голых, лишенных растительности площадках, менее горячие ключи — в термальных болотцах. Около источников развивается своеобразная органическая жизнь — термофильные водоросли

и травы, а также теплолюбивые животные. Иногда ключи, отлагающие накипи, выходят в центре образованных ими небольших пологих конических бугорков.

Среди выходов терм Камчатки встречаются самые разнообразные их виды — от спокойно изливающихся источников до бьющих ключей и гейзеров и даже до термальных грязевых вулканчиков, которые мы уже видели в кальдере Узона.

В образовании термальных источников, как известно, принимают участие, с одной стороны, воды метеорного происхождения, с другой — вода, пары и газы, выделяющиеся из магматического очага и обязанные своим составом самим эманациям или главным образом разложению силикатов магматических пород газами и водами эманаций. Вначале, когда происходят интенсивные процессы разложения изверженных пород обильными и постоянными по составу магматическими эманациями, выносится горячая вода, богатая щелочами, ювенильными газами и характеризующаяся такими соединениями, как галоиды и сернистые соединения. Со временем состав эманаций изменяется, значительную роль в образовании состава вод приобретает углекислота, в воде постепенно начинают преобладать гидрокарбонаты и щелочные ионы заменяются щелочноземельными, в основном кальцием.

На Камчатке, в отличие от таких вулканических областей, как Аляска или Кавказ, резко преобладают воды первого типа, «свежие», не подвергшиеся изменению; причем их можно разделить на две группы. Воды терм, связанных с массами кислых изверженных пород, слабо минерализованы (сухой остаток меньше 1,5 г/л), по составу натрово-сульфатные, с азотом в газовых выделениях; к азоту в небольшом количестве примешаны сероводород, благородные газы; в отдельных случаях наблюдается значительное содержание углекислоты. Температура воды этих терм высокая, характерны отложения кремнистых накипей в прошлом.

Источники, связанные с основными породами, сильнее минерализованы (до 7 г/л). Это натрово-хлористые воды с углекислотой в свободно выделяющихся газах; иногда присутствует метан; встречается сероводород, но не всегда. В этих водах обнаружена повышенная концепция некоторых микроэлементов. Характерно отложение травертина. К такому типу относятся упомянутые выше Налачевские источники.

Указанные две группы вод являются преобладающими; менее распространены другие типы.

Всего на Камчатке известно около 90 групп термальных ключей. Несмотря на еще малую изученность их, можно уже сейчас охарактеризовать Камчатку как область мало измененных, «свежих» вулканических вод.

Около некоторых термальных ключей Камчатки обнаружены различные минеральные новообразования: кремнистые накипи (впрочем, относящиеся в основной своей массе к прошлому), травертины, иногда с примесью гипса, опала, окиси железа и (в Налачевских источниках) мышьяковистых соединений (мышьяковистого ангидрида, вероятно, в виде гайдингерита); далее среди минеральных отложений источников встречаются сера, дисульфид железа, вивианит, выпоты «солей» (кальцит, опал, гипс, галит); около более горячих ключей — гигроскопические выпоты сульфатов, подобные упомянутым отложениям фумарол Авачи; наконец, надо назвать каолиновые продукты разложения горных пород, иногда с примесью алунита (на Узоне).

Гейзеры на Камчатке известны среди Паужетских ключей, расположенных на юге полуострова (где наблюдался миниатюрный гейзер, выбрасывающий струю воды всего на 80—90 см и обладающий периодом в 16—17 мин.), и в долине речки Шумной, вытекающей из кальдеры Узона. Речка Шумная на расстоянии 30 км от устья глубоко (до 500 м) врезалась

в толщу лав и туфов дола, на котором расположились вулканы Узон и Кихпиныч. Здесь, выше устья речушки, впадающей в Шумную и стекающей с Кихпиныча, имеются многочисленные гейзеры и выходы горячих ключей и струй пара, найденные недавно Т. И. Устиновой и изученные ею и С. И. Набоко. Один из гейзеров, выходящий среди глыб, покрытых корками гейзерита, в момент бурного извержения, продолжающегося 3—5 мин., выбрасывает с гулом струю воды наклонно под углом 45—50° к горизонту на высоту около 10 м, а столб пара поднимается при этом до 50 м. В течение такого же периода времени извержение ослабевает, гейзер опоражнивается. Затем его грифон снова начинает наполняться, горячая вода переливается через край, бурлит и подбрасывается все выше и выше (до 1 м), и минут через 45 извержение повторяется.

В дальнейшем изучение термальных источников продолжила Вулканологическая станция. В настоящее время из 90 зарегистрированных групп источников, около трети которых обнаружены за последние годы, изучена половина. Для каждой изученной группы имеются краткие сведения о геологических условиях выхода, химические анализы воды, микроскопические анализы минеральных отложений и для 23 групп — химические анализы газа.

КЛЮЧЕВСКАЯ СОПКА

Самый активный вулкан Камчатки — Ключевская сопка, или Ключевской вулкан, — давно получил всеобщую известность, но сведения о его строении и составе лав долгое время были очень отрывочными. Несколько более определенные данные мы получили после исследований С. А. Конради [1], и, наконец, уже в последнее время, с началом работ Вулканологической станции, этот вулкан детально изучался В. И. Влодавцем и Б. И. Пийпом.

Ключевская сопка представляет вулкан исключительно правильной формы, достигающий высоты 4850 м (Гипсометрическая карта, 1949). За последние 200 лет зарегистрировано около 20 крупных извержений, но вулкан действует почти непрерывно, выделяя из кратера обильные газы и пар, выносящие иногда в своих струях большее или меньшее количество пепла. Временами происходят извержения, сопровождающиеся излиянием лавы, потоки которой стекают по склонам, иногда отрываясь от вершинного кратера. Изумительно правильная форма вулкана и однообразный в общем состав вулканических продуктов указывают, что в его истории созидательные процессы преобладали над разрушительными и что, повидимому, в жизни сопки не было перерывов, характерных для сложных вулканов типа Авачи.

Тем не менее каждое крупное (пароксизмальное) извержение, как это выявилось в результате извержения 1945 г. и стало ясным после изучения материалов деятельности вулкана в прошлом, производит значительные изменения на поверхности конуса, выражающиеся в образовании больших и глубоких эруптивных долин, внешне похожих на эрозионные барранкосы, но по способу образования приближающихся скорее к типу «шарра» Стромболи. Такие «шарра», которые часто ошибочно принимались за трещины или расщелины на конусе, образуются в результате бомбежки склона конуса огромным количеством гигантских бомб, выбрасываемых слегка наклонно из ближайшего к этому месту устойчивого пункта извержения («бокки») в кратере. В случае, если «бокка»

---

[1] Достаточно подробное петрографическое описание главных типов лав Ключевской сопки и соседних вулканов появилось только в 1931 г. Оно было сделано А. Н. Заварицким по материалам С. А. Конради, и по коллекциям А. Н. Трошина и Г. А. Дягилева.

сохраняется в том же месте и при извержениях других периодов деятельности, продолжает сохраняться и «шарра»; в ином случае «шарра» заполняется снегом и льдом и с течением времени верхняя часть ее становится мощным и глубоким фирновым полем, питающим новый, далеко спускающийся к подошве конуса глетчер. Ясно, однако, что такие глетчеры и фирновые поля не являются вечными; их существование зависит от обстановки дальнейших извержений, и поэтому прав С. А. Конради, когда он говорит о возможности существования здесь «блуждающих» ледников.

Верхняя часть Ключевской сопки состоит главным образом из вулканических пеплов, шлаков и льда, особенно в западной части. В некотором количестве к этому материалу присоединяются лавы. Конический фирн — ледник, охватывающий всю сопку, оканчивается рядом острых языков на высоте 1200 м. Лед западной половины Ключевской сопки сливается с ледниками соседних вулканов. Моренные отложения несколько усложняют вулканическую постройку сопки.

В руслах долин у подножья вулкана обнажаются мощные толщи древних лав, а более молодые потоки лавы, стекающие со склонов при извержениях, в восточной стороне сопки быстро засыпаются извергаемыми лапилли и пеплом, покрывающими здесь безжизненную шлаковую пустыню у подножья вулкана. К юго-западу от нее лавовые потоки не засыпаны. В нижней части склонов и у подножья сопки с разных сторон имеются многочисленные боковые конусы и кратеры. В расположении этих кратеров, по наблюдениям В. И. Влодавца, намечается некоторая правильность; с одной стороны, они располагаются как бы по радиусам, исходящим из центра вулкана, с другой — могут быть сгруппированы в несколько концентрических колец.

Три из таких кратеров извергались в 1932 и 1933 гг. В 1937—1939 гг. и 1944—1946 гг. произошли извержения самого вулкана и новых боковых кратеров. В 1951 г. образовался еще один новый боковой кратер [1].

Изучение лав упомянутых выше извержений позволяет подметить интересное явление, заключающееся в некотором различии состава лав в зависимости от высоты, на которой находится место излияния.

Лавовые потоки Ключевской сопки сложены глыбовой лавой. По составу они относятся к андезито-базальтам или базальтам. Распространенной и характерной разновидностью являются крупнопорфировые лавы с выделениями основного плагиоклаза в темной, почти черной основной массе, более или менее пузыристой. Такие крупнопорфировые лавы имеют значительное развитие к востоку от конуса сопки, обнажаясь в глубоких барранкосах; они представляют более древние лавы вулкана. По составу эти лавы являются несколько менее основными породами, чем базальтовая лава современных излияний. Кроме этих крупнопорфировых лав, встречаются и более плотные мелкопорфировые. Последние извержения боковых кратеров дали наиболее основной тип лав с многочисленными фенокристаллами оливина, а также авгита в гиалопилитовой основной массе. В лавах с вершины вулкана присутствует гиперстен, отсутствующий в лаве боковых кратеров. Бомбы Ключевской сопки принадлежат частью к грушевидным крученым бомбам базальтового типа, частью к типичным шлаковым.

Извержения латеральных кратеров произошли на различных склонах вулкана и на разных высотах над уровнем моря. Кратеры 1932—1933 гг. образовались на высоте 500—600 м на северо-восточном склоне вулкана; кратеры 1938 г. прорвались в интервале высот 900—1800 м на восточном

---

[1] В июне 1953 г. образовался еще один побочный кратер (кратер Белянкина). Он изучался и будет описан Б. И. Пийпом.

склоне; кратеры 1945 г. в такой же радиальной ориентировке расположились на высотах от 1000 до 1500 м на юго-восточном склоне; кратер 1946 г. образовался на высоте около 1600 м на юго-восточном склоне неподалеку от кратеров 1945 г., а кратер 1951 г. прорвался на высоте около 950 м на восточном склоне. Лавы всех этих боковых извержений заметно отличаются от соответствующих лав вершинного кратера, что объясняется, вероятно, гравитационной дифференциацией, так как различие ясно обусловлено высотою места извержения. Эти различия особенно резко выражаются в относительном количестве железисто-магнезиальных составных частей. Для лав вершинного кратера это количество наименьшее, для лав боковых кратеров 1938 и 1945 гг. оно возрастает раза в полтора, а для лав наиболее низко расположенных кратеров 1932 г. — почти вдвое выше, чем на вершине. Изменение в химическом составе выражается и в минералогии лав тем, что в лавах вершинного кратера Ключевской сопки, как уже указано, присутствует гиперстен, а лавы паразитных нижних кратеров богаты оливином.

Анализы лав более ранних извержений Ключевского вулкана из потоков на северном склоне указывают на промежуточное положение их по составу.

По своему строению Ключевская сопка, как это уже издавна отмечали все ее исследователи, — типичный стратовулкан. Еще К. И. Богданович указывал, что этот вулкан возник на склоне потухшей теперь Плоской сопки. По мнению В. И. Влодавца, в первую стадию своей жизни Ключевская сопка извергала относительно больше лав, чем в настоящее время.

БОКОВЫЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ КЛЮЧЕВСКОЙ СОПКИ в 1932—1933 гг.

В 1932 г. вулканологические исследования на Камчатке, начатые изучением Авачи в 1931 г., неожиданно расширились. Один из участников исследований Авачи В. С. Кулаков был командирован на Камчатку музеем Горного института для сбора некоторых материалов. В это время в окрестностях величайшего камчатского вулкана — Ключевской сопки. началось извержение нового бокового кратера. Около месяца Кулаков провел в непосредственной близости к растущему вулкану, с необычайной смелостью собирая продукты извержения и проводя интереснейшие наблюдения над деятельностью кратера, взрывами газов, движением лавы и т. д. Впервые русскому геологу посчастливилось с такой детальностью изучить величественное и грозное явление вулканического извержения.

Побочные кратеры образовались в 1932 и 1933 гг. в 16 км от вершины Ключевской сопки, к северу, у ее подножья, на высоте 500—600 м над уровнем моря.

25 января 1932 г. из Ключей был замечен столб «дыма» на месте первого из возникших вулканчиков (Киргурич). Извержение продолжалось до начала лета и дало поле лавы в 3—4 км², в виде покрова, образованного несколькими потоками, мощностью около 15 м. Шлаковый конус возвышался над лавовым полем метров на 50. В кратере, открытом с восточной стороны, выступала большая глыба оливинового базальта. В. С. Кулаков в конце лета мог наблюдать сильное действие фумарол в отдельных местах на поверхности поля; сизый дым поднимался над поверхностью глыбовой лавы, давая отложения главным образом хлоридов железа, аммония и кальция.

Второй паразитный кратер (Туйла), находящийся в 1300 м к северо-северо-востоку от первого, начал образовываться с конца июня, когда

были замечены первые взрывы. Непрерывные взрывы отмечались наблюдателями, посещавшими эту местность, в начале и в конце июля. В. С. Кулаков наблюдал извержение с половины августа.

До конца месяца (до 27 августа) деятельность вулкана выражалась в двух формах — взрывах с выбросами крупного материала и излияниями лавы или выносе газами большого количества пепла с своеобразным шорохом вместо грохота взрывов. К 27 августа насыпной конус, имевший сначала подковообразную форму, стал более правильным, кольцевой вал его замкнулся. Деятельность вулкана изменила свой характер. Количество выбросов рыхлого материала увеличилось. На склоны конуса извергались лавины, состоящие почти сплошь из рыхлого материала, или происходили взрывы с выбрасыванием плотных масс пепла в виде пиков, похожих по форме на кипарисы. Иногда из кратера вылетали громадные крутящиеся клубы дыма. К моментам эксплозивной деятельности были приурочены излияния лавы, выходящей из-под конуса потоком шириной 40—50 м.

За неделю конус вырос примерно на 25 м. С вечера 1 сентября взрывы усилились, и в первом часу ночи в северной части конуса образовалась трещина. Лава поднялась доверху и начала изливаться через край, а затем, приблизительно через час, было замечено, как северо-восточная часть конуса отползла, увлеченная движением лавы. Через 3 часа она сдвинулась на 80 м и еще через 3 часа — на 100 м.

После расползания конуса деятельность вулкана приняла такой же характер, как во второй половине августа.

Движение лавового потока В. С. Кулаков наблюдал примерно в 2 км от кратера, где поток двигался со скоростью 12—15 м в сутки. Это была глыбовая лава, местами образующая выпячивания. На краевых частях потоков из фумарол обильно отлагался нашатырь.

Третий побочный конус (Биокось) прорвался по соседству с двумя первыми 13 ноября 1932 г. и закончил свою деятельность 8 апреля 1933 г. Лавовые потоки растекались по всем направлениям около конуса, образуя вокруг него лавовое поле. Сохранилась только восточная часть конуса, остальная часть была смыта потоками.

ИЗВЕРЖЕНИЯ КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА в 1937—1938 гг.[1]

Вечером 3 апреля 1937 г. над кратером впервые появилось слабое прерывистое освещение. В последующие ночи освещение становилось более сильным и устойчивым, стали заметны раскаленные бомбы, «искрами» вылетавшие из кратера. Через 10 дней начались более сильные взрывы; до Ключей, находящихся на расстоянии 32 км от кратера, стал доноситься грохот. Пепел падал преимущественно на склоны конуса. Такого рода сравнительно слабая деятельность, перемежавшаяся периодами покоя, длилась до первых чисел июня, т. е. два месяца.

18 мая на северном склоне вулкана у кратера была замечена широкая темная полоса, от которой поднимался пар. Наблюдателями эта полоса была принята за поток жидкой лавы. Впоследствии неоднократно отмечались многочисленные лавовые потоки на всех склонах вулкана, однако излияние лавы по всем склонам вулкана было бы совершенно противоестественно, так как кратер имел глубокую выемку в западной части, и поднимающиеся массы жидкой лавы неизбежно должны были изливаться

---

[1] Систематические наблюдения извержений производили А. А. Меняйлов и С. И. Набоко. Описываемые сведения основаны на их сообщениях; иногда дается иная интерпретация наблюдавшихся фактов.

на внешний край конуса только через эту наиболее низкую часть кратера и только на западный склон вулкана. Все остальные «лавовые потоки» очевидно, были потоками рыхлых агломератовых масс, образующимися вследствие различно направленных взрывов с выбросом большого количества раскаленных вулканических бомб и других рыхлых продуктов. В дальнейшем мы будем называть эти потоки агломератовыми.

Начиная с июня, активность кратера усилилась, интенсивность взрывов стала больше, на склонах образовывались многочисленные агломератовые потоки В июне наблюдалось три извержения. Раскаленные бомбы и другой рыхлый материал выбрасывались на высоту 200—400 м, а столб газа, выносившего пепел, поднимался до 4000 и иногда до 8000 м. Временами он принимал типичную форму пинии.

В середине июля (20-го) произошло относительно слабое извержение, которое удалось наблюдать совсем вблизи нескольким поднявшимся к кратеру исследователям [1]. Внутри кратера был небольшой внутренний рыхлый конус, вершина которого находилась на уровне краев кратера. Из центрального жерла этого конуса почти беспрерывно выбрасывалась с грохотом масса раскаленных бомб и кусков лавы до 1—2 м³ величиной. К западу от центрального жерла из бокового отверстия (бокки) извергалась масса черного пепла, причем перед каждым выбросом на несколько секунд прекращалось извержение бомб из центрального кратера и одновременно с выбросом выходили белые клубы пара. На дне кратера у основания внутреннего насыпного конуса проходила широтная трещина, по которой, возможно, и поднималась жидкая лава. Вечером этого же дня над вершиной были видны фонтаны раскаленных бомб.

Вечером 26 июля на внешней стороне кратера, с запада, открылась новая устойчивая бокка (Камули), которая дала большинство (а может быть и все) потоков лавы Одновременно над западным склоном вулкана от вершины до высоты 3500 м появилось освещение, а на высоте 3500 м был замечен внешний пункт выброса газов. Источники освещения и выброса газов были скрыты от наблюдателей за образующей конуса, и они считали, что на конусе образовалась открытая трещина и новый паразитический кратер. Однако специальные поиски «трещины» и «паразитов» на западном склоне, предпринятые в мае 1938 г. А. А. Меняйловым, не обнаружили ни того, ни другого. Очевидно, пункт выброса паров представлял вторичную, неэруптивную отдушину, образованную на месте подпруженного нагромождения жидких или рыхлых лавовых масс, которая периодически могла действовать в зависимости от скатывания по склону конуса новых порций таких нагретых масс; пары воды и взрывы могли получаться от соприкосновения этих масс с ледниками. «Трещина» на западном склоне, очевидно, представляла отблеск жидких или рыхлых раскаленных масс, извергавшихся из бокки Камули по лощине, тянувшейся от вершины вулкана до его подножия, которую еще можно было видеть до последующего извержения в 1944—1945 гг.

В конце августа вулкан, закрытый облаками, не был виден из селения, но сотрудники Вулканологической станции Иванов и Дьяконов, находившиеся на склоне вулкана выше облаков, в ночь с 23 на 24 августа наблюдали новое извержение. С наступлением темноты был виден столб выбросов раскаленного пепла с редкими бомбами, и слышался грохот извержения. Затем на восточном склоне появилось три огненных языка, видимо, образовались агломератовые потоки; грохот прекратился, а вместе с тем был выброшен огромный освещенный снизу столб газов с пеплом. Пепел стал падать на северный склон. В Ключах пепел густо покрыл почву и листья растений.

---

[1] А. А. Меняйлов, Г. И. Малахов, П. Н. Дьяконов, А. Волков.

Через несколько дней (в ночь с 27 на 28 августа) повторилось сильное извержение пепла; закрытый облаками вулкан грохотал; извержение сопровождалось слабым землетрясением.

В сентябре и первой половине октября 1937 г. произошли кульминационные извержения. Вечером 2 сентября сначала выбрасывались черные клубы, затем началось извержение раскаленного рыхлого материала — бомб до высоты 400 м. 3 сентября ночью и в первой половине дня по склонам вулкана в различных направлениях спускались многочисленные агломератовые потоки; по западному склону, возможно, текла жидкая лава; над всем западным склоном поднимались клубы белого пара.

В конце сентября также были извержения, но, вероятно, несильные; вулкан тогда был закрыт облаками. Более сильное извержение произошло в начале октября; были выброшены большие массы пепла (по подсчетам, около 30 млн. м³). В ночь с 13 на 14 октября повторилось сильное извержение. Масса раскаленного рыхлого материала скатывалась по восточному и главным образом по западному склону вулкана; докатившись до седловины с Плоской сопкой и нагромоздившись там, эта масса раскаленного материала создала на леднике вторую внешнюю отдушину, которая была скрыта от наблюдателей в Ключах образующей конуса и считалась ими также паразитическим кратером. Как уже указывалось выше, это образование представляло собой вторичную неэруптивную отдушину от нагромождения раскаленных масс на поверхности ледника. Подобного рода вторичная деятельность наблюдалась также многократно на Аваче, в 1945 г. — на Ключевской сопке (и в этом же месте), на Шевелуче и на других вулканах. Сомнения в реальности существования открытой трещины и «паразитов» на западном склоне высказывал еще в 1940 г. В. И. Влодавец.

К середине октября внутренний насыпной конус нацело заполнил полость кратера и был хорошо виден из Ключей, поднимаясь выше уровня кратера. В связи с существованием внутреннего конуса и частым изменением его конфигурации материал, слагающий его, неизбежно должен был при новых извержениях обрушиваться на склоны конуса, создавая здесь дымящиеся раскаленные потоки рыхлых масс, принимавшихся наблюдателями за потоки жидкой лавы. В действительности излияния жидкой лавы, повидимому, происходили только из одного места — бокки Камули, находившейся в западной части вершинного кратера, с внешней его стороны.

21—22 октября произошло новое извержение. Эруптивные массы скатились по западному склону до седловины с Плоской сопкой, в связи с чем вновь действовали отдушины на внешней части конуса. Подобное же извержение повторилось в конце месяца, повидимому, с излиянием лавы.

Первая половина ноября отличалась более слабой деятельностью, выражавшейся в выделении паров и газов и иногда отблесках раскаленного рыхлого материала в жерле. 14 ноября произошел вновь сильный выброс газов и пепла. Пиниеобразный столб достиг 5000 м высоты. По склонам скатывались небольшие агломератовые потоки; по западному склону, вероятно, спустился мощный поток лавы.

Извержения продолжались и дальше. В начале декабря (5 и 8-го) выбрасывался пепел, а по западному склону спускались потоки лавы. 19 декабря произошли особенно обильные выбросы пепла; черные облака поднимались на высоту до 7000 м, и пепел широко покрыл окрестности вулкана. Над западным и восточным склонами было сильное освещение — образовывались раскаленные агломератовые потоки, на западном склоне, возможно, также излилась жидкая лава. 30 декабря опять произошло извержение; вследствие обильного падения пепла во время пурги днем стало так темно, что в нескольких шагах не было видно строений.

Три извержения Ключевской сопки произошли в январе 1938 г. Большую часть времени вулкан был скрыт облаками. Когда он временами открывался 9 января, были видны поднимавшийся высокий столб (до 5000 м) газов, выбросы раскаленных бомб и ночью — сильное зарево (отблеск лавы). Грохот вулкана, закрытого облаками, слышали 18 января. На другой день над ним было видно зарево, а затем, когда вулкан открылся, в течение нескольких часов можно было наблюдать выбросы рыхлого материала, которые повторялись с удивительной правильностью через каждые 15 минут. 24 января густые выделения газов и паров с рыхлым материалом окутывали грохотавший вулкан со стороны, обращенной к селению Ключи. Из селения Красный Яр наблюдалось излияние лавы по западному склону.

Последнее излияние лавы из вершинного кратера Ключевской сопки произошло, вероятно, 5 февраля. Повидимому, дымящийся поток ее был виден, когда рассеялись облака, скрывавшие вулкан.

7 февраля 1938 г. извержение Ключевского вулкана приняло новые формы. В этот день произошел прорыв на восточном склоне; здесь возникли боковые кратеры, и сосредоточилась главная деятельность вулкана. Вершинный кратер с этого времени выделял непрерывно и довольно спокойно газы, вместе с которыми иногда выносился и пепел.

Рассматривая деятельность Ключевской сопки за год, с весны 1937 г. до весны 1938 г., можно заметить, что до половины октября активность ее возрастала. 2 и 14 октября произошли самые сильные извержения. Затем активность вулкана стала ослабевать. В декабре и январе излияния лавы и агломератовые потоки стали реже, сменившись более частыми и мощными выбросами пепла. В ходе извержения в феврале 1938 г. на восточном склоне вулкана возникли боковые кратеры; вместе с тем деятельность центрального кратера явно пошла на затухание.

ИЗВЕРЖЕНИЯ БОКОВЫХ КРАТЕРОВ НА ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ КЛЮЧЕВСКОЙ СОПКИ в 1938—1939 гг.

Образование боковых кратеров в 1932 г. сопровождалось землетрясениями. В 1938 г. явлений землетрясения, кроме слабых толчков в селении Камаки, не было, и о прорыве магмы узнали лишь по появлению туч паров и газов над местом извержения.

Новые боковые кратеры прорвались внизу на склоне вулкана, на высоте 900—1900 м, в уже доступной местности. К месту извержения можно было подъехать на собаках довольно близко, и сотрудники Вулканологической станции С. И. Набоко и В. Ф. Попков наблюдали извержение уже в непосредственной близости. Эти наблюдения дали ряд интересных сведений о механизме извержений.

На восточном склоне на высоте 1900 и 1800 м образовались два эксплозивных кратера, затем ряд воронок взрыва, ниже по склону — два кратера, давших небольшие потоки лавы, а ниже всех (на высоте 900 м) — центр извержения, оказавшийся самым активным и самым долговечным. Он существовал более года — с начала февраля 1938 г. до конца февраля 1939 г. и дал около 240 млн. м³ лавы и 25 млн. м³ рыхлого материала. Потоки лавы были длиной до 16 км, шириной — до 1,5 км. Лава вылилась в четыре приема [1].

Самый верхний из образовавшихся вновь кратеров [2] представляет

[1] Февраль 1938 г., апрель—июнь, июль—сентябрь, октябрь 1938 г.—февраль 1939 г.

[2] Обнаружен в 1949 г. А. А. Былинкиной и Г. С. Горшковым.

воронку взрыва диаметром около 150 м и глубиной до 50 м. С восточной стороны она окаймлена эксплозионными обломками преимущественно старых лав. В западной части рыхлый материал отсутствует. Очевидно, взрывы были направлены к востоку косо вниз по склону.

Следующий кратер (Козей) представляет двойную воронку взрыва с остатками перемычки между двумя центрами эксплозий, сложенной из спекшегося агломерата (до исследований 1949 г. эта перемычка считалась за скалу свежей лавы, выдавленную со дна кратера). Деятельность этого кратера состояла в выделении паров и отдельных взрывах с выбросами рыхлого материала; она была относительно слабой и продолжалась менее полугода, сменившись выделением фумарол.

На высоте 1790 м находится несколько воронок взрыва, слившихся в эксплозивный ров. На высоте 1770 м имеются еще две небольшие слившиеся воронки.

Деятельность всех эксплозивных кратеров состояла в выделении паров и отдельных взрывах с выбросами рыхлого материала; она была относительно слабой и продолжалась менее полугода, сменившись выделением фумарольных газов.

Ниже эксплозивных кратеров, в русле речки, на высоте 1260 м возникло еще одно отверстие; лава, выступившая из него, образовала нагромождения без насыпного конуса. Среди них в небольшой воронкообразной впадине через полгода после прорыва, который был замечен по поднимавшейся высокой струе пара, еще действовали фумаролы с температурой до 250°.

Еще ниже, также в русле речки, возник новый выход лавы, образовавший поток небольших размеров (около 1 км), тоже без насыпного конуса. Выходы лавы в месте извержения увенчаны группой скалистых утесов — выпячиваний, в основании которых долго выделялись фумаролы. Извержение потока лавы в этом месте удалось видеть издали одному из местных жителей. Около полуночи здесь появилось огненное облако, быстро рассеявшееся; на земле же одновременно можно было заметить узкую огненную полоску, затем потускневшую; осталась только одна точка, казавшаяся отдаленным костром. Спустя 10 дней поток глыбовой лавы уже вполне застыл, из кратера поднимался столб белого пара, иногда слышался гул и происходили эксплозии газа с небольшим количеством пепла. По ночам периодически появлялось слабое освещение от еще раскаленной лавы. Через полтора месяца вулкан только слабо выделял пары, а через полгода слабо действовали фумаролы.

В противоположность этим эфемерным боковым вулканчикам самый нижний из этого ряда боковых конусов (Билюкай), возникший на высоте 900 м, отличался длительной и постоянной деятельностью. Эта-то деятельность и была предметом подробных наблюдений.

Ко времени их начала над местом прорыва лавы уже образовался насыпной конус высотой 100 м, впоследствии выросший до 200 м. В период извержения он несколько менял свою форму в зависимости от накопления выбрасываемых продуктов.

Интересно, что извержение этого бокового вулкана происходило через три выхода (кратера), и в каждом из них оно проявлялось различно.

Центральный выход, или кратер основного жерла, находился на усеченной вершине шлакового конуса. На его западном склоне, т. е. со стороны, обращенной вверх по склону Ключевской сопки, было жерло на высоте 40—50 м от основания паразитного конуса, дававшее обычно выбросы газов и рыхлого застывшего материала, а у подножья конуса с противоположной стороны, вниз по склону Ключевской сопки — выход (бокка), откуда изливалась лава.

Характерные формы извержений этих трех выходов были следующие.

Из центрального основного жерла почти непрерывно с грохотом и взрывами, следовавшими один за другим иногда всего через две секунды, вместе с газами выбрасывались главным образом куски незастывшей лавы, превращавшейся в шлаки, бомбы, лапилли, часто с тонкой пористой структурой. В моменты наиболее интенсивного действия вулкана эти выбросы переходили в фонтанирование лавы.

Из жерла на западном склоне со взрывами, сопровождаясь гулом и рокотом, периодически вырывались огромные клубы и столбы газа черного цвета, перегруженного пеплом и другим рыхлым застывшим материалом. В промежутках между взрывами жерло обычно совсем бездействовало.

Из выхода у восточного подножия конуса почти непрерывно и спокойно, иногда с клокотаньем, выливалась лава, раскаленная до светло-желтого цвета, и временами поднимались белые и голубоватые выделения газов.

Несколько варьируя, эти явления в разнообразных сочетаниях создавали величественную картину процесса извержения. Можно отметить здесь основные черты его изменений во времени.

Извержение началось сильным взрывом и излиянием лавы. В конце февраля (22-го), когда впервые сотрудники Вулканологической станции С. И. Набоко и А. А. Меняйлов достигли вулкана, лава с непрерывными взрывами фонтанировала из основного жерла, а из кратера на западном склоне конуса периодически выбрасывались газы и пар. Затем активность ослабела. В конце марта и в начале апреля в основном жерле чередовались часовые перерывы покоя с такими же периодами действия в форме частых взрывов с выбросами бомб. Жерло на западном склоне не действовало.

25 марта образовалось жерло у восточного подножия шлакового конуса, из него полилась лава.

В июле и августе действовали все три жерла. 9—12 июля, когда возобновились прерванные наблюдения над вулканом, происходили только частые взрывы с выбросами раскаленных бомб, лапилли и т. д. из основного жерла; остальные жерла бездействовали. 12 июля к деятельности основного жерла присоединились очень сильные взрывы с черными выбросами рыхлого материала из жерла на западном склоне, и вслед за этим (14 июля) начала выливаться лава из выхода у восточного подножия конуса. Деятельность основного жерла стала менее постоянной; частые взрывы сменялись непрерывным выделением пара, иногда выносившего рыхлый материал. Из жерла на западном склоне происходили редкие, но очень сильные выбросы со взрывами.

В первой половине августа (10—12-го) усилилось излияние лавы. Из основного жерла непрерывно, с рокочущим шумом, но без сильного грохота, выносился струей газа рыхлый материал. В западном жерле происходили очень сильные взрывы с выбросами застывшего рыхлого материала.

Затем после некоторых колебаний в интенсивности деятельность во всех жерлах ослабела с тем, чтобы во второй половине августа (24—26-го) смениться фонтанированием лавы из основного жерла при частых, но не сильных взрывах в западном жерле и усиливавшемся излиянии лавы из восточного жерла. В конце августа (28—30-го) произошла незначительная экструзия лавы из основного жерла при частых и сильных выбросах из жерла на западном склоне; излияние лавы из-под основания конуса с восточной стороны прекратилось.

В дальнейшем (с конца октября 1938 г. по февраль 1939 г., по наблюдениям В. Ф. Попкова) жерло на западном склоне не действовало; происходили взрывы с выбросами лавы из основного жерла, и вытекал поток

лавы из выхода у восточного основания конуса. 23 февраля ночью произошло землетрясение в Ключах. Над кратером извергавшегося бокового конуса поднялось минуты на две или три громадное облако высотой до 3000 м, освещенное красным светом. В бинокль из Ключей были видны падающие раскаленные бомбы. При этом взрыве была разрушена восточная часть конуса; в дальнейшем взрывы прекратились. Над провалом на месте кратера выделялись пары, и в несколько приемов были выжаты последние порции плотной лавы. Летом лавовый поток почти не перемещался, и извержение перешло в стадию выделения фумарол.

ИЗВЕРЖЕНИЕ КЛЮЧЕВСКОЙ СОПКИ
в 1944—1945 гг.

С окончанием бокового извержения в феврале 1939 г. в продолжение почти 6 лет вулкан находился в состоянии покоя. Новая деятельность началась в первых числах декабря 1944 г. и подобно прошлой составилась из извержения главного кратера, вслед за которым последовали извержения боковых кратеров.

Извержение, деятельность которого наблюдал Б. И. Пийп, началось неожиданно, на этот раз без каких-либо ясных предупреждающих явлений. Впервые оно было замечено 9 декабря 1944 г., но началось, повидимому, несколько раньше, в пасмурные дни.

9 декабря и в продолжение последующих двух недель картина извержения была однообразной и постоянной. Заключалась она в том, что с наступлением темноты над кратером появлялось тусклое огненнокрасное зарево, которое, то усиливаясь, то ослабевая, держалось всю ночь, а днем было видно, как из кратера поднимались на высоту 300—800 м компактные серые сфероидальные клубы газа и пепла. Зарево, несомненно, представляло эффект от раскаленных лавовых частиц.

Через несколько дней после начала извержения до селения Ключи (32 км от кратера), откуда наблюдалось извержение, стали доноситься глухие раскаты взрывов.

Через две недели интенсивность значительно усилилась, и теперь на фоне зарева стали видны выбросы раскаленных вулканических бомб, а днем мощный столб извергаемых газов и пепла поднимался на высоту до 2000 м над кратером. На склонах вулкана и на окружающих равнинах, на расстоянии многих десятков километров от кратера, снег стал темнеть от оседающего пепла.

В последних числах декабря 1944 г. деятельность вулкана еще более усилилась, но вместе с тем утратила свой непрерывный характер. Извержение теперь стало происходить как бы спазмами, то усиливаясь, то ослабевая. В моменты, когда извержение усиливалось, взрывы следовали друг за другом так часто и с такой силой, что над кратером вырастал огненный клин или обелиск из продуктов взрывов, из вершины которого огненным роем высыпались раскаленные бомбы, медленно падавшие или обратно в кратер, или на внешние склоны вулкана. Над «обелиском взрывов» вздымалась мощная серая пиния плотных масс газа и пепла, достигавшая высоты 7—8 км над кратером. Днем, когда эффектов светящейся лавы не было видно, картина извержения была менее величественной. Периоды усиления извержения продолжались от 30 минут до 2 часов, а интервалы резкого ослабления — от 1 до 5 часов. Интересной особенностью было удлинение интервалов ослабления по мере приближения к кульминационной стадии извержения.

С приближением к этой стадии значительно усилились звуки извержения, от которых дрожали стекла и обшивка домов в селениях, расположенных у подошвы вулкана в 32—50 км от кратера. Более обильными

стали пеплопады. Впервые начали ощущаться редкие толчки землетрясений.

1 января 1945 г. в полнолуние извержение достигло кульминационного напряжения. Этому моменту предшествовал 11-часовой период резкого ослабления эруптивных явлений.

Около 5 часов утра из кратера внезапно вместе с огромной массой газов поднялся слегка наклонный «обелиск взрывов», который через 15 минут вознесся на высоту около 1500 м над кратером. Столб газов над ним вздымался вверх более медленно. Из вершины «обелиска взрывов» сразу же стали высыпаться в огромном количестве раскаленные вулканические бомбы, которых было столько, что масса их, медленно падавшая вниз, производила впечатление сказочной огненной пурги. Обелиск эксплозии в середине имел яркую оранжево-желтую окраску, что свидетельствовало о высокой температуре извержения (примерно 1200°).

В таком состоянии картина извержения держалась до рассвета, пока дневной свет не погасил световые эффекты. Зато теперь величественнее стала вырисовываться огромная вулканическая туча, выступающая на высоте до 10 км над кратером и тянущаяся в виде мрачной черной завесы на северо-запад. Высевая пепел, она опускалась до поверхности земли; таким образом, высота тучи достигала почти 15 км над уровнем моря.

Эта стадия извержения сопровождалась многими любопытными явлениями, которые усиливали величественность картины и подчеркивали ее необыкновенный характер. Так, поражали огромные преимущественно горизонтальные молнии, бесшумно сверкавшие в вулканической туче, и большое количество землетрясений, число которых в течение 15 часов достигло 21. Обращали на себя внимание аномальные явления проходимости звуков извержения: последние были необыкновенно сильными на расстоянии до 150 км от кратера и совершенно не ощущались в 30 км от него.

Извержение, продолжавшееся с неослабевающей силой весь день, закончилось в 8 часов вечера.

Когда после двух дней пепловой мглы вулкан вновь открылся, в кратере его не было заметно эксплозивных явлений; густо выделялись только фумарольные газы. Теперь в кратере появился куполообразный лавовый холм, из которого вытекала лава, спускавшаяся через вновь образованное ущелье вниз по северо-западному склону конуса. Поток льющейся лавы был виден до 22 января 1945 г. Спустя полгода поток оказался засыпанным обвалами.

Громадная фумарольная эксгаляция, заслуживающая названия кратерной эмиссии газа, наблюдалась до конца января 1945 г. В отдельные дни столб газов поднимался на высоту до 1 км над кратером. В дальнейшем фумаролы приняли вид, обычный для периода покоя.

Из последствий этого в общем единого и непрерывного извержения можно отметить следующее. В кульминационную стадию его было выброшено не менее 0,6 км³ пепла, который выпал на площади, равной примерно двум третям поверхности Камчатки. Основная масса пепла выпала на пути вулканической тучи, двигавшейся в северо-западном направлении; меньшую часть пепла развеяли воздушные течения.

На северо-западном склоне конуса, с подветренной стороны эруптивной тучи, в результате обрушения на это место громадного количества раскаленного материала было выдолблено и в дальнейшем пропахано многочисленными лавинами значительное ущелье, напоминающее по форме эрозионный барранкос, но по способу образования являющийся скорее аналогом того плоского лоткообразного распадка, который известен под названием Sciarra del Fuoco на Стромболи. Подобного же рода эруптивно-

экзарационные образования (будем называть их шарра), существовавшие на западном и юго-восточном склонах конуса, значительно расширились и углубились.

Конфигурация гребня кратера заметно изменилась, но поперечник остался примерно таким же, каким он был до извержения.

Громадное количество раскаленного рыхлого материала, проносившегося лавинами по новой шарра, отложилось, начиная от устья шарра, на обширной площади между конусом Ключевской сопки и ледником Эрмана, спускающимся с седловины между Ключевской и Плоской сопками. Эта залежь в первые дни после извержения испускала из отдельных фиксированных отдушин громадные столбы газа и пара, поднимавшиеся на высоту до 600—800 м. Издалека последние создавали иллюзию извергающихся паразитных кратеров, за которые они многими и принимались. Мощность залежи спустя 7 месяцев после извержения была около 40—50 м, но в момент отложения, по ряду косвенных признаков, залежь, повидимому, была более «пушистой», и мощность ее, вероятно, была не менее 60—75 м. Залежь состоит из хаотически перемешанных частиц, начиная от песчинок и кончая вытянутыми овальными бомбами длиной до 7 м.

Обрушение на склоны конуса колоссальных масс раскаленных частиц вызвало бурное таяние глетчеров и мощного покрова снега. Образовавшийся при этом объем талых вод и грязевых масс был настолько велик, что потоки воды и грязи, несмотря на суровый мороз (—33°), пронеслись вниз на расстояние до 30—35 км от места зарождения на северо-западном склоне конуса. Талая вода при этом влилась в р. Камчатку (в 10 км к востоку от с. Ключи), а грязевые потоки остановились, не дойдя 3—5 км до реки.

Как сама величественная картина извержения, так и грандиозные последствия его были, по словам старожилов окрестных селений, необыкновенными для рядовых извержений Ключевской сопки, по крайней мере, за последние 50—60 лет.

Наблюдения в кратере Ключевского вулкана, проведенные в 1951 г. А. А. Былинкиной, показали, что существовавший ранее (в 1937—1938 гг.) внутренний конус был полностью уничтожен. В юго-восточной части кратера находилась блюдцеобразная глубокая впадина, забитая плотным фирном; повидимому, именно здесь было главное жерло вулкана; об этом свидетельствовали также толстые корки возгонов на выступающих камнях. Максимальная высота стенок кратера доходила до 250 м. В северной стенке кратера имелась широкая и глубокая (до дна кратера) выемка — истоки вулканогенно-эрозионного ущелья («шарра»). Фумарольные струи, видимые над кратером от подножия вулкана, исходили из небольшого шлакового холма, расположенного в восточной части дна кратера.

ИЗВЕРЖЕНИЕ БОКОВЫХ КРАТЕРОВ НА ЮГО-ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ КЛЮЧЕВСКОЙ СОПКИ в 1945 г.

В конце января 1945 г. эруптивные явления в вершинном кратере прекратились, и вулкан, казалось, перешел в состояние покоя. Такое состояние продолжалось около 4,5 месяцев. Время от времени оно нарушалось только мощными обвалами внутри кратера и в истоке новой шарра, поднимавшими густые красновато-бурые облака пыли.

Между тем внутри тела вулкана осталась порция активной магмы, очевидно, ответвившейся от вершины очага или нижней части центрального канала, которая продолжала пробивать себе путь к поверхности.

Прорыв этой побочной массы лавы и газов произошел 19 июня 1945 г. на юго-восточном склоне вулкана, вдали от населенных мест. Событие отметилось коротким резким сейсмическим толчком в 15 часов 06 минут по местному времени, который ощущался во многих ближайших к вулкану селениях.

В первые два дня над местом извержения поднималась грандиозная серая вулканическая туча с типичной поверхностью «цветной капусты», высотой до 7 км над уровнем моря. В следующие дни высота столба извержения резко упала, но звуки взрывов продолжали еще долго разноситься на десятки километров по окрестностям.

Спустя неделю, с расстояния от 0,5 до 1 км Б. И. Пийпу удалось подробно исследовать это явление.

Извержение произошло в альпийской зоне на уровне высот от 1000 до 1500 м, недалеко от старых побочных кратеров Карпинского и Стеллера. Здесь была найдена уже сформировавшаяся цепочка кратеров, вытянутая по склону на расстояние около 2 км и направленная к вершине Ключевской сопки. В верхней части склона расположились четыре продолговатых эксплозивных кратера, уже прекративших деятельность, а самый нижний, пятый, кратер был источником льющейся с большим напором лавы.

Лавовый кратер проявлял очень бурную деятельность. Из него на высоту 100—300 м почти непрерывно выбрасывался величественный лавовый фонтан, и одновременно происходило обильное истечение лавы.

Цвет фонтанирующей лавы днем был ярким оранжево-красным, а ночью — золотисто-желтым, что указывало на температуру примерно в 1200°. Лава выбрасывалась в жидком состоянии; на землю же частички ее падали хотя и раскаленными, но уже твердыми. Это были неправильных очертаний комки и глыбы шлаков, из которых очень быстро нагромождался вал вокруг фонтанирующего отверстия, всегда открытый в сторону стока. Пункт извержения временами перемещался на внешнюю сторону конической насыпи, которая, имея, очевидно, неостывшую пластичную основу, начинала на глазах наблюдателя расползаться и перемещаться вниз по потоку. Вокруг нового отверстия быстро вырастал новый шлаковый вал.

Вместе с лавой выбрасывался и газ. В массе фонтана он был прозрачен и невидим, но над вершиной фонтана собирался в белое кучевое облако, из которого непрерывно сыпался пепел. Помимо этого, существовал и самостоятельный источник газа на внешней стороне конуса шлаков. Отсюда эпизодически вырывались тяжелые, насыщенные пеплом столбы газа, поднимавшиеся на высоту до 1—1,5 км. Характерно, что только здесь, в вихревой массе газа и пепла, создавались типичные вулканические бомбы, тогда как в лавовом фонтане, где частицы лавы перемещались параллельно самим себе (не вращаясь), они не наблюдались.

Одновременно с деятельностью лавового фонтана происходило излияние большой массы жидкой лавы. Она была жидкой только в самом истоке, несколько ниже уже покрывалась шлаковой корой, разламывалась на глыбы и далее выступала в виде темной хаотически глыбовой насыпи высотой около 10—12 м. В этой темной каменистой массе только кое-где сверкала огоньками раскаленная лава, в наибольшем количестве она виднелась в фронтальной части потока. Здесь была установлена максимальная температура лавы 1100°.

Лава двигалась очень медленно. Фронт ее перемещался в сутки на расстояние не более 250 м. Движение происходило так, что лава все время натекала на россыпь затвердевших глыб, которая непрерывно образовывалась за счет обрушения языка потока. Таким образом, в поперечном сечении неизменно поддерживалось типичное для подобного рода лаво-

вых потоков трехъярусное строение: внизу и наверху — россыпь затвердевших глыб, а посередине — монолитный пласт пластичной лавы.

Извержение, продолжавшееся 19 суток, прекратилось 7 июля 1945 г.

Четыре эксплозивных кратера, расположенных один за другим в верхней части линии прорыва, образовались и были активными, повидимому, в первые два дня извержения, когда над ними выступала огромная вулканическая туча. Они представляют собой вытянутые вдоль линии прорыва узкоовальные впадины, образованные из серии уменьшающихся по размерам воронок взрыва (от четырех до семи) и окруженные (каждая в отдельности) насыпью рыхлого материала. Длина этих кратеров, или маар, от 300—500 до 160 м, ширина от 200 до 80 м и глубина (в верхних наиболее широких частях) до 70—80 м.

Насыпь высотой до 50—70 м, окаймляющая эти кратеры, состоит из щебенки, глыб и песка старых и новых лав, выброшенных взрывами. Бомбы, иногда гигантских размеров (до 8 м по длинной оси), весьма редки. Характерен яркокрасный цвет материала внутри насыпи и серый — на поверхности нагромождения и в окрестностях кратеров. На внутренних стенках двух верхних кратеров выступают странные на первый взгляд потоки или оплывины цементированного кластического материала, падающие внутрь кратеров и несогласно перекрывающие напластование кратерного вала. Происхождение их мы объясним дальше.

Гребень самого верхнего эксплозивного кратера оказался весьма интересным своими постэруптивными явлениями. Здесь, спустя месяц после извержения, можно было видеть многочисленные зияющие трещины, внутри которых на глубине от 0,5 до 1,5 м от поверхности выступала обломочная масса, раскаленная до яркокрасного свечения. Температура ее, измеренная оптическим пирометром, равнялась 790°. Раскаленное состояние обломочной массы внутри кратерной насыпи продолжало сохраняться и далее, так как через два месяца температура поднялась до 840° и количество трещин на гребне увеличилось.

Подобного рода устойчивое раскаленное состояние лавовой массы, притом обломочной, спустя много месяцев после извержения представляет выдающийся факт, очень интересный и значительный. Несомненно, здесь мы имеем дело с термальным эффектом реакции окисления лавы, совершающимся после извержения, с тем процессом, в результате которого нормальная серая лава становится кирпично-красной за счет перехода всех закисных соединений железа в минералах лавы в окисные. Этот процесс, очевидно, вызывается кислородом воздуха, с силой засасывающимся в рыхлую, еще не остывшую после извержения лавовую массу.

Температура реакции окисления лавы, повидимому, может значительно превышать максимальное значение в 840°, измеренное вблизи поверхности. Внутри насыпи температура несомненно выше и, вероятно, достигает 950—1000°, когда начинается размягчение твердых обломков лавы и шлака и масса приобретает способность пластически перемещаться, так как только этим можно объяснить происхождение упомянутых выше кластических оплывин на крутых склонах верхних эксплозивных кратеров. Кстати, этим же можно объяснить существование спекшихся красных агглютинатов в ядрах почти всех шлаковых конусов.

Процесс окисления может длиться очень долго. Можно сослаться на примеры побочных кратеров, возникших в 1932 и 1938 гг., из которых первый через 13 лет после извержения, осенью 1945 г., сохранил температуру 243° на гребнях кратера, а второй, через 7 лет после извержения, в тех же местах кратера имел температуру 287°. Лавовые потоки и дно кратеров этих вулканов были уже совершенно холодными.

Явление окисления, очевидно, происходит и в лавовых потоках. Очаг окисляющейся лавы находится здесь в агломератовом основании потока. Монолитная срединная часть потока и его поверхностная зона довольно быстро после излияния остывают до несветящегося состояния, тогда как вдоль трещин, рассекающих поток до нижнего окисляющегося основания, лава остается раскаленной в течение долгого времени. Так, в ряде мест в нижнем, среднем и верхнем течении потока 1945 г. наблюдались спустя три месяца после излияния раскаленные трещины, температура лавы в которых была от 650 до 740°. Обычно в этих местах были сосредоточены и мощные фумаролы. Так как мощность агломератового основания потоков небольшая, то процесс окисления лавы совершается здесь скорее, чем в более мощных толщах насыпных конусов; вследствие этого первые остывают значительно скорее вторых.

Много интересного дали наблюдения над фумарольной деятельностью. В распределении фумарол выявилась приуроченность определенных типов их к определенным участкам эруптивного поля. Ясно обособленных типов фумарол оказалось четыре: сульфатные, нашатырные, кислые галоидные и сухие галоидные. Фумаролы первого типа, выделяющие сернистый газ, сероводород, воду и углекислоту и возгоняющие серу и гигроскопичные сульфаты преимущественно состава калиевых, натровых, железных и магниевых квасцов оказались приуроченными исключительно только к внутренним полостям эксплозивных кратеров. Второй тип фумарол с характерными голубоватыми парами нашатыря, воды и небольшого количества галоидно-водородных кислот, и отлагающий в большом количестве нашатырь и красный кремерзит, как очень характерные возгоны, распространен только на поверхности лавового потока и кое-где на склонах нижнего лавового конуса. Фумаролы третьего типа с резким запахом галоидно-водородных кислот и с возгонами галоидных и сульфатных солей были приурочены к внешним склонам верхнего эксплозивного и нижнего лавового кратеров, к линиям, лежащим на оси прорыва. Фумаролы четвертого типа без паров воды и вообще с небольшим количеством резко пахнущего газа, а также с очень незначительными количествами сублиматов, преимущественно фторосиликатов, были связаны исключительно с раскаленными трещинами на гребнях эксплозивных кратеров.

Все эти фумаролы, за исключением чисто сульфатных, были явно связаны с процессом окисления лавы. Это обстоятельство дает возможность по-новому объяснить происхождение отдельных составляющих фумарольных газов.

Интересной особенностью этого цикла извержений, так же как, повидимому, и предыдущих, является относительное богатство лав боковых кратеров ксенолитами, которые почти совершенно отсутствуют в лавах вершинных извержений. Среди последних, помимо обломков старых андезитовых и базальтовых лав, лежащих в кровле очагов эксплозивных кратеров, встречаются сплавленные ксенолиты третичных песчано-глинистых пород и более сильно оплавленные осколки глубинных интрузивных пород состава габбро и гарцбургита. Любопытно отсутствие метаморфических явлений в песчано-глинистых третичных породах и глубокие метаморфические преобразования в карбонатных конкрециях этих пород. Последнее выражается в переходе карбонатного вещества конкреции в чистый агрегат мелилита, что совершилось, повидимому, в форме газовых реакций, с привносом кремнекислоты и выносом углекислоты, т. е. в форме пневматолиза в смысле Бунзена и Феннера, так как продукт метаморфизма заключен внутри неизмененной оболочки конкреции и представляет кавернозный агрегат, который, как известно, типичен для подобного рода реакции. Среди ксенолитов глубинных пород габбро

характеризуется своей катакластической структурой, что говорит о сравнительно неглубоком залегании его, а также вершины очага Ключевской сопки, расположенного, повидимому, в теле этой породы; катакластическую же структуру, но несколько более слабую, обнаруживает и гарцбургит, характерный, между прочим, присутствием пикотита среди акцессорных минералов.

Присутствие ксенолитов третичных пород в боковых лавах и отсутствие их в вершинных, повидимому, указывает на прорыв боковой инъекции по новому пути, проходящему через толщу указанных пород, т. е. по направлению от вершины очага наклонно вверх к подножию конуса вулкана, вероятно, по трещине типа шотландских конических слоев.

ИЗВЕРЖЕНИЕ БОКОВОГО КРАТЕРА НА ЮГО-ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА в 1946 г.

После окончания бокового извержения в 1945 г. покой длился лишь немногим более года. 23 октября 1946 г. на юго-восточном склоне вулкана, в 2 км от группы кратеров предшествующего извержения, на высоте около 1600 м неожиданно образовался еще один кратер (Апахончич). Прорыв нового кратера произошел без каких-либо предупреждающих явлений; об извержении узнали по зареву, вспыхнувшему 23 октября в 22 часа на восточном склоне Ключевского вулкана, у его подножия. Освещение было сильное, пульсирующее, с желтоватым оттенком и распространялось на довольно значительной площади. Зарево держалось всю ночь до рассвета; с рассветом над пунктом извержения стала видна темная протянувшаяся на восток туча. На восточном склоне вулкана, на линии горизонта из Ключей были видны несколько столбов пара, собиравшиеся вверху в кудрявую тучу, верхняя граница которой была на высоте 4 км. В течение последующих трех ночей в районе нового кратера было видно освещение, а днем — столбы белого пара. 27 октября до с. Ключи стали доноситься звуки взрывов.

Со 2 ноября извержение нового кратера наблюдала С. И. Набоко. Конус нового кратера имел высоту около 100 м с диаметром основания около 300 м. Вокруг конуса в радиусе около 200 м были разбросаны немногочисленные вулканические бомбы.

На вершине конуса находилась эксплозивная бокка, из которой каждые 2—3 секунды происходили взрывы, выбрасывавшие огненнокрасные куски вязкой шлаковой лавы. Сила взрывов была небольшая, куски лавы, диаметром порядка двух метров, поднимались всего на 40—50 м и падали обратно в кратер, более мелкие куски падали на внешние склоны конуса и реже к его подножию. Рядом, из газовой бокки, непрерывно с шипящим звуком вырывался столб белых паров, собиравшийся вверху в кудрявую тучу, которая была видна из с. Ключи. На востоке конуса у его основания находилась лавовая бокка, откуда спокойно и непрерывно изливалась жидкая лава. Температура лавы у выхода ее из бокки, измеренная оптическим пирометром, оказалась равной 1150°.

Поток лавы имел в это время длину уже около 10 км и напоминал узкую длинную ленту. Значительная протяженность лавового потока и небольшая ширина указывали на сравнительно большую скорость течения лавы в первые дни извержения, обусловленную отчасти крутизной склона Ключевского вулкана, а отчасти, возможно, меньшей вязкостью лавы. Лава по составу представляла оливиновый базальт с 50,1% SiO_2.

К сожалению, длительность извержения и ход эруптивных явлений последних дней его остались неизвестными, так как наблюдения у кратера велись только со 2 до 5 ноября. Освещение над новым кратером наблю-

далось последний раз в ночь с 10 на 11 ноября. Кудрявая туча над кратером держалась также до 11 ноября и наблюдалась еще раз 20 ноября. С 20 ноября небо над местом извержения оставалось совершенно чистым. 26—28 декабря, когда кратер был посещен вторично, весь конус, включая кратер и истоки лавового потока, были уже под снегом. Вероятнее всего, извержение закончилось 11 ноября; длительность его в этом случае оказывается 19 суток [1].

Характерным для этого извержения было почти полное отсутствие возгонов как в процессе самого извержения, так и в процессе остывания лавового потока.

ИЗВЕРЖЕНИЕ БОКОВОГО КРАТЕРА НА ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА в 1951 г.

Длительный период покоя, начавшийся после окончания латерального извержения в ноябре 1946 г., длился ровно пять лет, если не считать слабых выбросов пепла из главного кратера в мае—июле 1949 г.

Днем 14 ноября 1951 г. начался рой местных землетрясений; в полдень 15 ноября число толчков достигло максимума, а в последующие дни количество их резко уменьшилось. В период спада сейсмических толчков рано утром 19 ноября произошло извержение из главного кратера Ключевского вулкана. Извержение непосредственно не наблюдалось, так как в этот день вулкан был закрыт снеговыми тучами; активность его была установлена только по густому пеплопаду, наблюдавшемуся в ряде окрестных селений.

На следующий день, 20 ноября, около 5 часов утра на восточном склоне Ключевской сопки, на высоте около 950 м, началось извержение нового эксцентричного кратера (кратер Былинкиной). В первые дни извержение было очень бурным. Столб взрывов и оттягивавшаяся от него на юго-восток серая вулканическая туча поднимались на высоту до 5000 м, а вечером и ночью было видно, как из кратера выбрасывались на высоту до 400 м фонтаны раскаленных бомб и пепла. Звуки взрывов в виде сильного гула и грохота непрерывно доносились до пос. Ключи.

23 ноября, когда Б. И. Пийп начал наблюдения возле кратера, извержение уже заметно ослабло. Деятельность кратера имела перемежающийся характер и выражалась в «вязких» потрясающих взрывах с выбросами раскаленных бомб и в шумных и взрывоподобных выдуваниях газа, чередовавшихся с периодами покоя, постепенно удлинявшимися. К моменту начала наблюдений у кратера новый шлаковый конус уже закончил свое формирование; происходившие в дальнейшем взрывы и выбросы шлаков не изменили ни его формы, ни высоты. Нагромождение шлаков имело вид продолговатого черного вала, в средней части которого с северной стороны протягивалась широкая почти горизонтальная площадка с действовавшими на ней четырьмя бокками. Из шлакового конуса был уже излит к северу небольшой поток глыбовой лавы, имевший треугольную форму и длину около 1 км.

Взрывные явления в кратере, постепенно ослабевая и отделяясь все более и более продолжительными периодами покоя, прекратились вечером 30 ноября. Продолжительность извержения, следовательно, была всего лишь 10 суток.

В период извержения и позже, в январе 1952 г., фумаролы на поверхности лавового потока были еще относительно слабыми. Они возгоняли главным образом слегка буроватый нашатырь с незначительной примесью

[1] С. И. Набоко считает, что извержение длилось 29 дней.

кремерзита и кое-где слабые налеты желтых фторидов. Сильнее действовали фумаролы кратерного нагромождения; здесь, как и в кратерах 1945 г., были обнаружены трещины, внутри которых ярко светились шлаки, раскаленные процессами постэруптивного окисления. Около этих трещин отлагались корочки фторидов. В мае 1952 г. фумарольная деятельность оказалась более усиленной. На потоке лавы появилось больше фумарол, особенно вдоль западного борта, где успели накопиться толстые корки исключительно чистого нашатыря; кроме того, встречалось незначительное количество фторидов и исключительно редко — сыпь тонкоигольчатой серы. На гребне кратера также увеличилось количество фумарол; к раскаленным трещинам добавилось много новых. Вблизи этих трещин продолжали возгоняться характерные желтоокрашенные фториды.

ГАЗЫ И ВОЗГОНЫ ПАРАЗИТНЫХ КРАТЕРОВ КЛЮЧЕВСКОЙ СОПКИ

Со времени организации Камчатской вулканологической станции началось систематическое изучение вулканических газов, первые попытки которого, как мы видели, были сделаны при исследовании вулкана Авачи.

В 1935—1936 гг. изучению подверглись газы фумарол латеральных конусов Ключевской сопки, образовавшихся в 1932—1933 гг. Исследовались также продукты возгонов, отлагавшиеся при действии фумарол около их устья. В отличие от фумарол Авачи здесь среди кислой составной части фумарольных газов преобладал хлористый водород, вместо соединения серы были замечены следы фтора.

В возгонах обнаружены хлористые соединения аммония, натрия, железа, меди, алюминия, кальция и магния, а также фтористые и кремнефтористые соединения и сульфаты; встречены самородная сера и углерод в форме, близкой к графиту. Кроме того, спектроскопически в возгонах было открыто присутствие еще целого ряда элементов.

Среди возгонов кратеров 1932—1933 и 1938—1939 гг. В. И. Влодавец и С. И. Набоко микроскопически установили следующие минералы: галотрихит, пиккерингит, криптогалит, цамбонинит, хлоркальцит, графит, серу, нашатырь, молизит, галит, минералы, похожие на ральстонит и буссенготит, и др. В кратерах 1945 г. Б. И. Пийп, применяя тот же метод, обнаружил нашатырь и ассоциирующий с ним кремерзит, смеси малладрита, гиератита и опала, самородную серу, гипс и различные квасцы (натровые, калиевые, железистые и магнезиальные), смеси галита и сильвина, афтиталит, сульфат меди, похожий на герренгрундит, и др.

Отдельные пробы газов были взяты и на других вулканах. В некоторых пробах, правда, в ничтожном количестве, обнаружен водород.

Изучение вулканических газов исключительно трудно. Эруптивные газы, выходящие при самом извержении, пока еще совсем недоступны для опробования, но изучение их, повидимому, может быть осуществлено косвенными методами, в частности с помощью полевого спектрографа, применение которого необходимо будет испытать при дальнейших извержениях Ключевской сопки и ее побочных кратеров. Что же касается более доступных фумарольных газов, то изучение их тоже представляет значительную трудность. Сложен сам сбор газов, при котором почти невозможно избежать загрязнения их воздухом, притекающим через расщелины и промежутки между глыбами лавы к устью фумаролы. Кроме того, сложен и генезис этих газов, которые, как показали наблюдения над боковыми кратерами и лавовым потоком 1945 г., не всегда являются только ювенильными дестиллятами лавы, а представляют в ряде случаев смесь последних и продуктов реакции их с газами атмосферы. Такие

явления происходят в фумаролах лавовых потоков и в фумаролах насыпи эксплозивных кратеров благодаря засасыванию воздуха под горячую массу лавы и развитию вследствие этого в последней экзотермической реакции окисления, которая повышает температуру лавы, способствует усиленному отгону первичного газа и реакциям последнего с воздухом и поддерживает в течение длительного времени нагретое состояние лавы. Побуждаемые к такой длительной деятельности чисто внешними поверхностными причинами, это будут фумаролы без корней, как их называет Лакруа, или вторичные фумаролы по Перрету. Изучение происходящих в такой системе реакций обещает дать много нового для понимания закономерностей газовой деятельности, продолжающейся после извержения. В частности, существованием подобных реакций может быть объяснен генезис столь типичного для фумарол лавовых потоков нашатыря, азот которого, по всей вероятности, синтезируется из воздуха. Иными представляются фумаролы на дне боковых кратеров, которые имеют резко выраженный сольфатарный характер, благодаря чему они похожи на фумаролы вершинных кратеров, повидимому, всех действующих вулканов. Такие фумаролы следует считать первичными; в лавовых массах, через которые они выходят, явление окисления лавы, вероятно, отсутствует.

ТОЛБАЧИК И ЕГО ИЗВЕРЖЕНИЕ в 1939—1941 гг.

Вулкан Толбачик [1], находящийся к юго-западу от Ключевской сопки, представляет, в сущности, две соседние вулканические горы, почти слившиеся в один массив. Западная конусовидная гора, достигающая высоты 3682 м (Гипсометрическая карта, 1949), представляет собой потухший вулкан, сильно изрезанный барранкосами и сходный с Корякой, Вилючиком и другими подобными вулканами Камчатки. Восточная часть Толбачика — плоский хребтообразный вулкан, в котором и сосредоточена современная деятельность. Плоская вершина покрыта льдом и фирном. В барранкосах на склонах, значительно меньших, чем на Остром (западном) Толбачике, видно чередование тонких потоков лавы, иногда с волнистой поверхностью.

Толбачик отличается изобилием лавовых потоков, широко распространившихся и достигающих подножия соседних вулканов — сопок Дальней Плоской, Безымянной и Удиной. Большой лавовый поток Толбачика заливает верхнюю часть реки Студеной, образуя «лавовое озеро», на поверхности которого стоит шлаковый конус. Довольно распространен тип волнистой лавы; лавы были жидкими, и в выбросах последних извержений можно видеть много мелких хрупких крученых бомб и даже «волос Пеле» (тонкие стеклянные нити).

У подножия Толбачика с северо-восточной и особенно с юго-западной стороны находятся многочисленные боковые конусы, из которых иногда также изливались потоки.

Кратер вулкана расположен в юго-западной части вершины. По наблюдениям В. И. Влодавца в 1936 г., т. е. до последнего извержения, он представлял неглубокую впадину (наподобие окаймленной лавами и ледником площадки) диаметром около 400 м, покрытую в центральной части волнистой лавой, а по краям — вулканическим песком. В северо-восточной части этой площадки — кратерный провал глубиной около 100 м с почти отвесными стенками, в которых видны лежащие друг на друге тонкие лавовые потоки. Лед и снег, смешанные с песком и камнями, спускались по стенкам. Дно провала было также закрыто осыпями и снегом, и среди них имелись две бокки, из которых все время выделя-

[1] Исследовался В. И. Влодавцем, В. С. Кулаковым и Б. И. Пийпом.

лись пар и газы с резким сернистым запахом; иногда выносился вулканический песок и пепел, и слышался подземный гул.

Повидимому, в строении Толбачика главная роль принадлежит обильным излияниям лавы, пирокластический же материал встречается в весьма ограниченном количестве.

Лавы Толбачика темные, почти черные, с типичным базальтовым обликом. По внешнему виду, по структуре среди них различается несколько типов. Во-первых, выделяется характерный тип крупнопорфировой лавы, почти такой же, как на Ключевской сопке. В других образцах размеры выделений полевого шпата уменьшаются, и мы имеем мелкопорфировые типы. Кроме выделений плагиоклаза, обыкновенно наблюдаются фенокристаллы оливина, а также авгита. Некоторые лавы сильно пузыристы, с округлыми и вытянутыми пузырьками. Вообще лавы имеют вид хорошо текучих и принадлежат частью к глыбовому, частью к волнистому типу. На потоках попадаются горнитосы и лавовые пузыри.

После продолжительного периода покоя активная деятельность вулкана Толбачика началась в сентябре 1939 г. и продолжалась почти непрерывно до лета 1941 г. [1] До мая 1941 г. деятельность вулкана проявлялась в усиленном выделении белых клубов газов и пара через жидкую, расплавленную, светящуюся лаву, заполнявшую кратер. Прорыв газа через вершину лавовой колонны иногда принимал характер умеренных эксплозивных извержений, при которых вместе с обильными количествами газа выбрасывалась лава и крупные (до 2—3 см) таблитчатые кристаллы лабрадора, содержащиеся в ней; лава вместе с кристаллами падала на землю в виде легкого и нежного, похожего на пену, шлака; при этом происходило вытягивание лавы в длинные и тонкие стеклянные нити — «волосы Пеле». Почти постоянное присутствие жидкой расплавленной лавы в кратере давало огненное зарево над вершиной вулкана.

Такое состояние наполненного расплавленной лавой вершинного кратера, продолжавшееся несколько более полутора лет, напоминало деятельность гавайских вулканов. Это состояние активности прекратилось 18 марта. 24—25 апреля в кратере временно опять показалась жидкая лава, после чего он вновь потух до 9 мая.

Затухание закончилось сильным, но очень непродолжительным извержением, приведшим к образованию на склоне вулкана нового бокового кратера.

7 мая вечером жители Козыревска и других соседних селений услышали со стороны закрытого облаками Толбачика глухой гул. Когда 9 мая вулкан открылся, на южном склоне его несколько ниже вершинного кратера наблюдатели увидели высокий столб темного «дыма», увенчанного серой тучей, из которой на склоны вулкана густо падал пепел. Газовая струя, насыщенная пеплом, вырывалась из нового кратера толчками. Когда стемнело, столб газов и пепла озарился тусклым огненнокрасным светом, иногда как бы разгоравшимся от фонтанов раскаленных бомб, выбрасываемых из кратера. Вниз от кратера огненной полосой спускался лавовый поток. В следующие дни извержение продолжалось с той же силой. Днем была видна темная пиния, а ночью — огненное освещение над кратером и потоком. Не утихал и грохот.

Извержение закончилось 14 мая, когда прекратились выбросы пепла из кратера, утих грохот и потухло зарево над вулканом. Из кратера выделялись только густые белые клубы газов и пара.

При извержении бокового кратера в вершинном кратере снова появилась расплавленная лава, отблески которой до этого не наблюдались. В дальнейшем вершинный кратер потух, как и новый кратер на склоне.

---

[1] Извержение 1939—1941 гг. наблюдали В. Ф. Попков и Б. И. Пийп.

Боковой кратер возник в вершине сухой речки, сбегающей с южного склона вулкана. Он достиг высоты 70 м, образован почти исключительно бомбами и шлаками, местами спекшимися в прочный агглютинат. В окрестностях конуса отложилось много песка, шлаковатых лапилли и бомб. Последние типичного для базальта вида выбрасывались преимущественно в юго-западном направлении.

Лавовый поток вылился с юга и спустился по склону вулкана примерно на 5 км. Лава глыбовая, представлена базальтом, содержащим редкие и мелкие порфировые выделения оливина. По химическому составу и микроскопическим особенностям эта лава весьма похожа на базальт боковых кратеров 1932 г. на Ключевской сопке.

Два месяца спустя после извержения из потоков выделялись фумарольные газы, содержавшие хлористый водород и отлагавшие в большом количестве нашатырь.

ВУЛКАН ШЕВЕЛУЧ

Шевелуч является самым северным вулканом восточной вулканической зоны Камчатки. Он исследовался в 1937—1938 гг. и в 1946—1948 гг. А. А. Меняйловым, в 1945 г. — Б. И. Пийпом и в 1948—1950 гг. — Г. С. Горшковым. При описании строения вулкана использованы данные исследований главным образом авторов настоящей статьи, так как другие данные еще не опубликованы. Шевелуч достигает высоты 3335 м (Гипсометрическая карта, 1949). Массив древнего вулкана разбит трещинами широтного и северо-северо-восточного простирания. По этим трещинам юго-восточный и северо-западный секторы массива опустились; в гигантских обрывах оставшихся северо-восточной и юго-западной частей можно прекрасно наблюдать строение этого вулкана. Особенно хорошо видно строение его в северо-восточной наиболее высокой части, так называемой Главной вершине, со стороны селения Камаки. Нижняя половина сложена исключительно грубыми пластами рыхлого материала, в состав которого входят преимущественно обломки пород фундамента вулкана — различные старые лавы, метаморфические сланцы и др. В верхней части пирокластической свиты лежат несколько прослоев вулканических бомб свежей лавы. Верхняя половина состоит из мощных налегающих одна на другую толщ андезита. Эти толстые слои выклиниваются наружу, причем массы нижних, повидимому, больше массы верхних слоев. Падение последних круче, и они быстро выклиниваются.

Вторая стадия деятельности вулкана сосредоточилась на месте пересечения трещин в юго-восточной опущенной части его. Здесь образовался большой, сравнительно пологий, экзогенный купол состава пироксенового андезита. После излияния этого купола, повидимому, образовался крупный кратер опускания. В течение длительного перерыва в деятельности купол был сильно разрушен ледниками и превращен в широкую денудационную кальдеру, а впоследствии был частью перекрыт продуктами более поздней деятельности вулкана. В настоящее время от купола сохранились только отдельные изолированные части. Лучше всего строение этого купола можно наблюдать в районе выше водопада Шмидта. Здесь виден монолитный пласт лавы мощностью в несколько десятков метров, несогласно перекрывающий горизонтально залегающие пласты пирокластики Главной вершины и морену первого оледенения. Структура течения падает здесь сравнительно полого от кратера наружу, а вблизи места предполагаемого кратера — круто внутрь.

Третья, повидимому, угасающая стадия деятельности характерна тем, что во время редких периодов оживления вулкана, наступающих лет через 15—35 после стадии покоя, на дне упомянутой эрозионной каль-

деры вдоль трещин сброса происходят или только эксплозии в виде случайных очень кратковременных извержений пепла и песка, или, если деятельность более напряженная, со дна кальдеры выжимаются сравнительно небольшие раскаленные, но очень вязкие массы лавы в форме эндогенных куполов, имеющих состав роговообманкового андезита. Периоды оживления вулкана продолжаются обычно несколько лет подряд. Ряд более древних куполов приурочен к северо-северо-восточной трещине, современные куполы расположены вдоль широтной трещины. Несколько куполов имеется и вне упомянутой эрозионной кальдеры — в верховьях р. Каран и на правом берегу р. Байдарной.

Отдельные куполы кончали извержения гигантскими взрывами с выбросом колоссального количества пемзы, покрывающей ныне многометровыми слоями всю поверхность дола в южной части вулкана. Покров пемзы не повторяет очертаний погребенного рельефа, а накапливается в понижениях и почти отсутствует на более возвышенных частях, указывая, что, возможно, извержения пемзы происходили в форме раскаленных «потоков». Высокая температура их определяется остатками обугленных деревьев. Присутствие этих пемз на вершинах одних куполов и отсутствие на других позволяет определить их относительный возраст.

Господствующей породой Шевелуча является светлосерый роговообманковый андезит, из которого сложена Главная вершина вулкана и скалы экструзивных пород на его другой деятельной вершине. По своему составу андезит относится к довольно кислым представителям лав Камчатки. О его химическом составе мы знаем уже из данных анализа, приведенных еще у Абиха; порода содержит 61,3% кремнекислоты. По внешнему виду это очень типичный роговообманковый андезит с крупными черными фенокристаллами роговой обманки и более многочисленными белыми мелкими выделениями плагиоклаза в светлосерой или розоватой основной массе. Такой же состав имеют лава и песок извержений 1944—1950 гг., о которых речь будет ниже. Эти светлые породы и особенно пористые пемзовидные светлые выбросы вулкана представляют резкий контраст с темными продуктами извержений Ключевского вулкана.

Лавы Шевелуча в общем гораздо беднее железисто-магнезиальными составными частями и кислее, чем лавы Ключевского вулкана.

В строении Шевелуча принимают участие и более основные породы. Такими породами являются дайки базальта с пластовыми апофизами, особенно частые в районе р. Байдарной. А. А. Меняйлов указывает также на присутствие в верхней части массива Главной вершины потоков андезито-базальта. Деятельность Шевелуча в периоды покоя выражается в слабых выделениях фумарол, содержащих сернистый газ и углекислоту. Такого рода сольфатару на Кратерной вершине вулкана наблюдал в 1910 г. С. А. Конради; после извержений 1925—1930 гг. такие же сольфатары обнаружил здесь в 1937 г. А. А. Меняйлов. Массив Шевелуча является самостоятельным центром оледенения: с него спускается шесть ледников. В бортах сухих рек обнаруживаются морены трех более древних оледенений; между моренами встречаются остатки древесной растительности.

ИЗВЕРЖЕНИЯ ШЕВЕЛУЧА
в 1944—1950 гг.[1]

Последний цикл извержений Шевелуча закончился в 1930 г., и с тех пор вулкан находился в состоянии покоя. Новая деятельность началась в декабре 1944 г., когда вершинное извержение Ключевской сопки было

[1] За извержениями наблюдали: с декабря 1944 г. по сентябрь 1945 г. — Б. И. Пийп; с октября 1945 г. до августа 1946 г. — В. П. Эндан; с августа 1946 г. до сентября 1948 г. — А. А. Меняйлов; с сентября 1948 г. до июля 1950 г. — Г. С. Горшков.

уже в полном разгаре. 23 декабря 1944 г. около 4 часов дня над активной вершиной Шевелуча, восточнее кратерных экструзивных скал, внезапно стал расти серый столб газов и пепла, который быстро поднялся на высоту около 1000 м над кратером. Через 15 минут взрывы прекратились, и ветер стал сдувать образовавшуюся тучу на юго-запад. Высевая пепел, она распластывалась над южной частью массива и вскоре расплылась в воздухе.

Это первое извержение было одиночным и кратковременным. Через два дня, когда вулкан открылся от облаков, над его вершиной высоко дымили только фумаролы и темнел черным пятном пепел, выпавший на заснеженный склон. В дальнейшем фумарольная деятельность ослабела и стала невидимой с расстояния в 50 км, откуда наблюдался вулкан, а выпавший пепел занесло снегом.

Через три недели после этого первого извержения на вершину вулкана поднялся Б. И. Пийп. Осмотр показал, что кратер бывшего извержения представляет сравнительно небольшую овальную впадину размерами приблизительно 20×30 м, расположенную в полости денудационной кальдеры у восточного подножия жерловых куполов. Отсюда непрерывно выбивались клубы газа, более густые, чем струйки соседних слабых фумарол на гребнях и склонах старых куполов.

Из продуктов извержения был встречен только светлосерый вулканический песок состава роговообманкового андезита. Округлая форма песчинок и состав их из осколков кристаллов и микролитовой основной массы при отсутствии свежего стекла и характерных вогнутых очертаний указывали, что песок был выброшен в твердом состоянии, но он мог быть и, повидимому, был раскаленным. Бомбы и иные эксплозивные глыбы и обломки в окрестностях кратера найдены не были.

Извержения, подобные начальному, наблюдались и в дальнейшем. Они происходили через неправильные, обычно продолжительные — от нескольких дней до месяца и более — интервалы времени. С момента первого извержения по сентябрь 1945 г., т. е. за 9 с лишним месяцев, таких извержений было отмечено 16, но так как в течение этого времени вулкан был свободен от облаков только 34 дня из каждых 100, то, безусловно, извержений было больше.

Зимой 1945/46 г. частота взрывов увеличилась, а весной 1946 г. над кратером, сильно увеличенным предшествующей эксплозивной деятельностью, было впервые замечено появление жесткого эндогенного купола амфиболового андезита. Первые месяцы рост купола происходил довольно быстро. К сентябрю 1946 г., когда купол посетил впервые А. А. Меняйлов с сотрудниками станции, он достигал высоты около 300 м над кратером и имел максимальную ширину около 500 м.

Монолитное ядро купола было скрыто брекчиевой корой рыхлого и частью спекшегося материала самой различной величины: от тонкого пепла до очень крупных скал. Сквозь брекчиевую кору происходило выжимание лавы в виде отдельных игл, башен, столбов и утесов то поодиночке, то целыми группами. Отдельные обелиски достигали 100 м высоты. Медленное выдавливание этих экструзий сопровождалось появлением трещин, разломами затвердевшей лавы и обрушением отрывающихся глыб на поверхность купола или к его основанию. При этом из вновь возникающих трещин, а также и в других местах купола происходили частые, но сравнительно слабые эксплозии, при которых выбрасывался горячий рыхлый материал. Последний вместе с обрушивающимися глыбами лавы постепенно наращивал мощную внешнюю брекчиевую кору. В соответствии с рельефом окружающей местности рост коры происходил преимущественно в восточном и северном направлениях. С запада к новому куполу, названному Суелич, примыкали более высокие части кра-

терной вершины, а с юга — несколько более низкие остатки старого купола. Здесь кора имела минимальную мощность.

Раскаленное состояние лавы было видно только в возникавших трещинах; судя по темнокрасному накалу лавы, температура ее была около 800°. Покров рыхлого материала вокруг купола также был горячим; температура песка доходила до 200°, и временами здесь возникали даже фумаролы. Рост купола происходил и в 1947 г. За этот год купол вырос в высоту на 100—150 м, значительно расширилась также брекчиевая кора.

В августе 1947 г. здесь впервые с близкого расстояния наблюдались Л. А. Башариной, Н. Д. Табаковым и другими крупные эксплозивные горячие лавины, весьма напоминающие по механизму образования, форме и отложениям «потоки глыб и пепла» на Мон-Пеле или некоторые разновидности «ладус» вулкана Мерапи. Извержения горячих лавин происходили с самыми различными интервалами (от нескольких минут до нескольких месяцев) до весны 1949 г.

Первая крупная лавина образовалась 24 июля 1947 г. около полудня. Вершина вулкана была в это время скрыта облаками. На следующий день погода прояснилась, и стал виден «поток» отложений лавины, тянущийся от южной части купола Суелич на расстояние около 4 км и спускающийся ниже г. Арбузик. От поверхности отложений во многих местах поднимались мощные струи пара, имитирующие паразитные кратеры; температура песка доходила здесь до 100°. На южном склоне купола лавина снесла тонкий покров брекчии, образовав «лавинный овраг», и обнажила наружные части ядра купола.

Все последующие горячие лавины, которые особенно детально были изучены Г. С. Горшковым в сентябре 1948 г., когда они наблюдались особенно часто, вызывались взрывами только в этой южной части; «лавинный овраг» сохранился до самого конца извержений. Довольно мощный начальный взрыв, звук которого и сотрясение почвы ощущались иногда на расстоянии до 10 км, был направлен обычно под углом 60—70° к горизонту. Плотные клубы газов и пепла, имеющие типичную поверхность вида «цветной капусты», поднимались вверх на 1—1,5 км. Масса рыхлого материала, выброшенная при взрыве, начинала скользить в виде лавины вниз по крутому склону купола, увлекая за собой материал, выброшенный при более слабых эксплозиях и уже остывший. При выходе из лавинного оврага путь лавины определялся исключительно силой тяжести; подобно водному потоку лавина выбирала наиболее пониженные участки, пренебрегая, однако, мелкими препятствиями. От «головы» лавины поднимались клубы газов и пепла; плотные внизу, они быстро расширялись, развертываясь и образуя облако до 2—3 км высотой. Вскоре облако начального взрыва рассеивалось, и компактное ядро лавины с поднимающимся от него облаком пепла и газов представляло как бы двигающийся центр эксплозии без видимой связи с куполом. Пройдя 2—3 км, лавина останавливалась. Этот путь она проходила за 5—8 минут. Облако пепла вытягивалось по направлению ветра на несколько десятков километров; так, например, 12 сентября 1948 г. пепел выпал в с. Усть-Камчатске, на расстоянии около 100 км от вулкана.

Отдельные глыбы были накалены до высокой температуры и даже светились в трещинах, другие, а таких было большинство, были совершенно холодными. Пепел лавины — горячим — около 100°, пепел же, выпадающий из облака, был холодным, и снег под ним не таял.

Когда лавины происходили ночью, то на месте взрыва вспыхивало красное огненное пятно, и было видно свечение катящихся вниз глыб. Температура лавы, измеренная оптическим пирометром, достигала 930°.

При наблюдении на близком расстоянии поражала почти полная бесшумность стремительного движения лавины, порождаемая, очевидно,

за счет отсутствия или незначительности трения отдельных частиц между собой. Трение ослаблялось отчасти за счет значительного количества пепла, действующего подобно смазке, а отчасти за счет паров и газов, выделяющихся из накаленных частей лавины.

Отложения, оставленные лавиной, представляли хаотическую смесь рыхлого материала от тончайшего пепла до глыб в десятки кубических метров объемом. Чрезвычайно характерно присутствие по краям отложений своеобразных узких насыпей из некрупных грубоокатанных глыб более или менее одинакового размера, напоминающих по внешнему виду боковую морену ледника. Вообще отложения горячих лавин весьма напоминают морену узкого долинного ледника, отличаясь, однако, большей окатанностью материала. Эксплозии происходили и в других местах купола по периферии его ядра, но такие взрывы носили обычный вертикальный характер. В результате взрывов вокруг ядра купола образовалось почти полностью замкнутое кольцевое понижение, отделившее ядро купола от его внешней «нарощенной» оболочки. Последняя в несколько раз превышала величину ядра купола.

В марте 1949 г. наблюдалась последняя горячая лавина. После этого ядро купола опустилось на 50—70 м, закупорив, повидимому, те трещины, по которым ранее поднимались газы. Наступил период почти полного покоя. Были плохо видны даже фумарольные струи. Однако ниже опустившегося ядра купола продолжали скапливаться газы, которые, наконец, 5 августа 1949 г. нашли себе выход между куполом Суелич и восточной частью Кратерной вершины и разрядили свою энергию в гигантском взрыве, поднявшем мощное курчавое облако пепла на высоту около 5 км. Пепловая туча с пеплопадом протянулась на восток до берегов Тихого океана, на расстояние более 100 км. Глыбы диаметром 30—40 см падали на растоянии до 0,5 км от места взрыва, проплавляя поверхность ледника или погружаясь на целый метр в рыхлый материал, покрывающий Кратерную вершину. Вслед за этим взрывом последовал ряд других, менее крупных, продолжавшихся с различными интервалами до весны 1950 г. Пепел некоторых взрывов выпадал в с. Ключи и даже в с. Козыревск. В результате заключительных эксплозий в западной части нового купола образовался большой глубокий эксплозивный кратер, захвативший и небольшую часть Кратерной вершины.

Последний взрыв, который можно считать концом эруптивного состояния Шевелуча, произошел 6 апреля 1950 г. Последующая деятельность вулкана до конца 1950 г. выражалась только в постепенно падающей фумарольной активности.

ДРУГИЕ ДЕЙСТВУЮЩИЕ ВУЛКАНЫ КАМЧАТКИ, ИССЛЕДОВАННЫЕ В ПОСЛЕДНЕЕ ВРЕМЯ

Кроме кратко описанных выше вулканов, в последние годы на Камчатке изучалось еще несколько действующих вулканов, извержения которых до сих пор не наблюдались так подробно, как на Ключевской сопке, Аваче, Толбачике и Шевелуче.

К а р ы м с к и й вулкан, который назывался также Березовской сопкой, расположен между Авачей и Узоном, примерно в 60 км от последнего. Это один из наиболее активных вулканов: за последние 25 лет произошло семь или восемь извержений Карымского вулкана. До недавнего времени он был одним из наименее изученных. Осенью 1938 г. его исследовал В. И. Влодавец.

Карымский вулкан сравнительно невелик; активный конус его достигает высоты около 1486 м (Гипсометрическая карта, 1949) и находится в широкой кальдере, открытой истоками реки Карымской на восток. Особенно интересен он кислым составом своих дацитовых лав, что выде-

ляет его среди других действующих вулканов Камчатки. В окрестностях вулкана были обнаружены 8 новых небольших угасших вулканов и несколько групп горячих ключей. В одном из этих вулканов встречена кислая, даже риолитовая, лава.

Карымский вулкан представляет собой правильный конус, только западный склон его кажется несколько неровным и более крутым вследствие сохранившихся здесь пока остатков лавового потока. На остальных склонах видны только вулканический песок, лапилли, куски пемзы и лавы, а также глыбы последней. Настоящие вулканические бомбы, однако, не встречались. Сам вулкан, его конус и лавовые потоки расположены в кальдере опускания, которая срезала, между прочим, почти половину и соседней (к северу) самостоятельной вулканической постройки. Почти отвесные стенки кальдеры опоясывают Карымский вулкан со всех сторон, за исключением юго-восточной. В этом направлении кальдера прорвана, разрушена и заполнена потоками глыбовой лавы.

Подошва Карымского вулкана, сложенная его лавами, поднимается над платообразной возвышенностью до высоты около 900 м (Гипсометрическая карта, 1949). Далее до вершины возвышаются склоны конуса. На вершине имеется кратер диаметром около 200 м.

Во время посещения вулкана из кратера интенсивно выделялись огромные количества газообразных продуктов; в основном это были пары воды и отчасти сернистый газ.

Последние извержения Карымского вулкана происходили зимой 1934/35 г., когда излилась лава дацитового состава с 64,6% кремнекислоты, в 1940 г. (с февраля до осени) и в 1943—1947 гг.

Вулкан М а л ы й С е м я ч и к, расположенный неподалеку от Карымского вулкана, не посещался никем из исследователей до 1946 г. В 1946 г. он исследовался В. И. Влодавцем, А. И. Морозовым и В. Д. Троицким. На вершине вулкана оказалось два потухших полуразрушенных кратера и один действующий с теплым озером на дне. По берегам озера выходят струи фумарольных газов с температурой около 100°.

В 1945—1946 гг. местные жители наблюдали взрывную деятельность вулкана. Судя по рассказам местных охотников, до 1943 г. на месте активного кратера с озером существовало лишь небольшое углубление, заполненное снегом. Очевидно, новый кратер с озером образовался в результате извержений 1945—1946 гг.

Вулкан Г о р е л ы й Х р е б е т находится примерно в 60 км к юго-западу от г. Петропавловска. С северного берега Авачинской бухты он виден на горизонте правее сопки Мутновской.

Горелый Хребет представляет собой очень пологий вулкан с несколькими (в 1911 г. — тремя, в 1929 г. — пятью) кратерами, располагающимися друг за другом в северо-западном направлении. Высота самого высокого среднего кратера Горелого Хребта — 1829 м (Гипсометрическая карта, 1949). По указанию В. С. Кулакова, на вершине вулкана, по широтно протянутому гребню, образованному слившимися конусами, имеется пять кратеров в форме котлов диаметром до 600 м.

Этот вулкан, по С. А. Конради, находится внутри кальдеры, почти заполненной лавами. Остатки кальдеры заметны в виде оторочки на юго-западном склоне. Характерная особенность вулкана — обилие лавовых потоков почти во всех направлениях. Наиболее молодые потоки излиты из среднего кратера на юг и из западного — на юго-запад. Этот поток спускается в истоки Горелой реки (так называется вершина реки Опалы), огибающей с юга сопку Опалу, и имеет длину около 15 км. Лава волнистая, с наплывами, пустыми внутри, со сталактитообразными сосульками и фестонами. На лавовом потоке имеются шлаковые паразитные конусы. Поток дает две ветви, одна из которых направлена влево — в кольце-

образную долину кальдеры, а другая — вправо, в соседнюю долину, где возник, повидимому, небольшой лавопад. Подпруженный поток разлился шире и образовал небольшое лавовое поле.

Лавы Горелого Хребта серого цвета, то более плотные, то пористые, с неправильными пустотами, содержат многочисленные, но мелкие фенокристаллы плагиоклаза. По микроскопическим особенностям их можно отнести к авгитовым андезитам или андезито-базальтам. Эти лавы как будто располагаются на крупнопорфировых лавах, напоминающих лавы дола Ключевской группы вулканов и другие ранние излияния камчатских вулканов.

Во время посещения вулкана С. А. Конради в 1909 г. средний кратер выделял местами пар (из трещин скал). В 1929 г. началось продолжительное и сильное извержение, выразившееся в ряде взрывов с выбросами пирокластического материала. Собранные В. С. Кулаковым весной 1931 г. во время извержения бомбы и пепел, как оказалось, принадлежат к гиперстеновым андезитам. Летом 1931 г. в ясные дни нам довелось наблюдать издали — из Петропавловска и со склонов Авачи — взрывы и выбросы большей частью клубящихся (в виде «цветной капусты») туч паров, которые скатывались затем по склонам. Реже выбрасывались черные столбы в форме типичных пиний с дождем пепла, сыпавшегося из увенчивающих эти пинии туч. Отдельные взрывы следовали иногда один за другим через 2—3 мин.

Вулкан К и з и м е н, расположенный к югу от группы вулканов Ключевской сопки и находящийся на западном склоне горстового Восточно-Камчатского хребта, в долине реки Щапина, до последнего времени был одним из наименее известных вулканов полуострова. В 1943 г. общие черты строения вулкана были изучены Б. И. Пийпом.

Кизимен, или, как его еще называют, Щапинская сопка, один из действующих вулканов Камчатки. Высота его 2375 м (Гипсометрическая карта, 1949) над уровнем моря. По своему строению он отличается от распространенного типа вулканов. Вместо обычной слоистой структуры, конического нагромождения слоистых масс лавы и рыхлых отложений здесь мы имеем почти однородный лавовый массив типа тех огромных экструзивных образований, существование которых в природе не так давно было обнаружено Уильямсом на примере Лассен-Пик в Калифорнии. Здесь мы так же, как и в случае Лассен-Пик, имеем огромную массу однородного заметно раскристаллизованного роговообманкового андезита, выжатую наподобие пасты из узкого отверстия. На такой способ образования указывает веерообразная ориентировка буроватых пережимов в массе серой лавы, пологое падение их внутрь массива в нижних частях последнего и крутое, почти вертикальное направление их вблизи вершины. В конечных стадиях жизни вулкана форма его деятельности изменилась. На восточной вершине массива образовался кратер, из которого стали изливаться потоки более темной и несколько более основной по составу, но такой же андезитовой лавы. Несколько потоков этой лавы покрывают северные и восточные склоны вулкана.

Кизимен не является единственным по своему строению среди других вулканов Камчатки. Такое же строение имеет Безымянная сопка среди Ключевской группы вулканов. Большую моногенную экструзию представляет потухший вулкан Дикий Гребень на юге Камчатки. Несомненно, в дальнейшем исследования установят еще несколько вулканов такого рода.

В 1943 г. кратер Кизимена был запечатан нагромождением эффузивной лавы, и в нем отсутствовали какие бы то ни было следы фумарольной деятельности. Зато последняя была необыкновенно сильной в пункте, расположенном на северном склоне вулкана, примерно в 400 м ниже вершины. Здесь находилась группа мощных сольфатар, с гулом выпускав-

ших струи газа из разложенной и пропитанной серой, гипсом и другими новообразованиями скалы экструзивного андезита.

Последняя деятельность вулкана, судя по плохо сохранившимся у окрестных жителей воспоминаниям, протекала в 1928 или 1929 г. По этим сведениям, а также по некоторым соображениям геологического характера, она была скорее всего эксплозивной по форме.

ТЕКТОНИКА И ВУЛКАНЫ

Чрезвычайно интересным и имеющим большое общее значение является вопрос о связи вулканов и их деятельности с тектоникой и в особенности с еще продолжающимися тектоническими движениями. На Камчатке эти соотношения вулканизма и тектоники невольно обращают на себя внимание. Они отчетливо выражаются прежде всего в расположении вулканов.

По окраине Тихого океана со стороны Азиатского материка расположены гирлянды островов, окаймляющих материк в виде целой системы дуг. Американский берег имеет иное строение, образуя сравнительно ровную линию, вдоль которой вздымаются непрерывные горные цепи. Обе эти половины Тихоокеанского тектонического и вместе с тем вулканического пояса смыкаются в северной части Алеутской дугой вулканических островов, переходящей на востоке в Аляску, а на западе примыкающей к первой (начиная с севера) азиатской дуге — Камчатско-Курильской. Смыкание Алеутской и Камчатской дуг происходит почти под прямым углом в северной части Камчатки. Здесь как раз расположена замечательная группа вулканов и в числе их Ключевская сопка — наиболее активный вулкан Камчатки, около которого и находится Вулканологическая станция.

Обращаясь к остальным вулканам Камчатки, в их относительном расположении можно установить два направления: одно — продольное, северо-восточное, другое — поперечное, северо-западное. Оба направления отмечены не только рядами расположенных на них вулканов. Иногда в этих направлениях проходят сбросовые дислокации. Термальные ключи в некоторых группах располагаются тоже вдоль таких линий. Мы, очевидно, имеем систему тектонических линий двух направлений. В очертаниях береговой линии Камчатки со стороны Тихого океана проявляются те же два направления; столь характерные мысы и полуострова, выступающие с одной стороны в Тихий океан, можно объяснить комбинацией общего тектонического направления складчатых хребтов или разрывов с поперечными разломами и сбросами.

Едва ли можно сомневаться, что поперечное направление разломов на Камчатке связано с направлением Алеутской тектонической и вулканической дуги, примыкающей, как мы видели, к Камчатской дуге в северной части полуострова. Здесь в окрестностях Нерпичьего озера наблюдались складки поперечного северо-западного направления.

Разломы, сбросы на Камчатке являются совсем молодыми, даже современными. Как известно, современные тектонические движения в земной коре проявляются в виде землетрясений, но землетрясения иногда вызываются также и вулканическими явлениями. Отсюда понятно, какое исключительное значение имеют сейсмические наблюдения при изучении вулканов и тектоники Камчатки.

Правда, сейсмические исследования должны здесь носить своеобразный характер. Поскольку наряду с тектоническими имеют место и вулканические землетрясения, перед исследователем встают несколько иные задачи, чем те, которые обычно интересуют сейсмологов: изучению должны подвергаться явления другого масштаба. В некотором роде по своим масштабам эти явления оказываются промежуточными между теми, которые

изучаются сейсмологами, и теми, с которыми имеет дело сейсмическая разведка, с той разницей, что исследованию подвергаются сотрясения, вызванные не искусственными взрывами, а естественными — вулканического происхождения, и что часто приходится решать задачу с неизвестными двоякого рода: надо определить место взрыва и выяснить структуру вулканических образований.

Кроме решения тектонических вопросов, сейсмические исследования могут осветить и очень важные особенности природы магмы. Так, например, глубины вулканических взрывов могут дать указания на величины внутреннего давления газов, растворенных в магме. Петрологам ясно, какое исключительное значение для всех наших представлений о магматических явлениях имеет решение этого вопроса.

Изучение внутреннего строения Ключевского вулкана, которое может явиться задачей своего рода сейсмической разведки, будет иметь и более общее значение. Оно может разъяснить причину своеобразного указанного выше расположения паразитных конусов вулкана по радиусам и концентрическим окружностям внизу склона. Тогда мы получим ответ на естественно возникающий вопрос, не имеем ли мы дело с формированием на Ключевской сопке замечательной структуры так называемых «конических слоев», которые были открыты и изучены в размытых до основания древних вулканах Шотландии.

Сейсмические наблюдения могут существенно помочь в установлении тех разломов, которые намечаются в общем расположении вулканов Камчатки и комбинируются в системы параллельных линий в двух направлениях, пересекающихся почти под прямым углом, причем линии в этих системах располагаются на определенных расстояниях одна от другой. Таким системам разлома большое значение придавали Грин, а затем Деекс и Фридлендер, как указанию на толщину земной коры в данной области. Подобного рода тектонические явления могут быть количественно изучены с трех пунктов сейсмической сети, ориентированной в виде более или менее равностороннего треугольника. Одна из станций такой сейсмической сети работает с 1948 г. в пос. Ключи при Вулканологической станции, другая с 1951 г. функционирует в г. Петропавловске.

Для изучения динамики вулканических очагов необходима установка более узкой сейсмической сети вокруг вулкана, состоящей из 4—5 станций с расстоянием между ними в 20—40 км.

Набросанный краткий очерк вулканических явлений на Камчатке и их изучения за последнее время дает некоторое представление о тех ближайших задачах, которые стоят перед исследователями этих явлений.

Для выяснения многих основных положений вулканологии вообще и Камчатки в частности приходится изучать не только активно действующие, но и потухшие вулканы, их морфологию, строение, состав и другие особенности лав и т. д. В настоящее время хорошо изучены потухшие вулканы Хангар (Т. Ю. Марениной) и Бакенин (А. Е. Святловским). Нельзя обойтись и без решения вопросов, касающихся вообще геологического строения Камчатки и ее геологической истории. В этой статье мы не можем останавливаться на том, что сделано в последнее время в данном направлении. Отметим только, что в 1940 г. была составлена новая и сводная геологическая карта Камчатки (1 : 2 000 000) и сделана краткая сводка стратиграфии. Несколько специальных геологических экспедиций (М. Ф. Двали, Б. Ф. Дьяков, В. С. Кулаков, Б. В. Наливкин, А. В. Щербаков, Д. С. Харкевич), предпринятых для выяснения геологии центральной Камчатки, существенно дополнили те сведения, которые были получены ранее. Для вулканологии представляют интерес работы Б. И. Пийпа, осветившие третичную вулканическую деятельность (андезитово-пирокластическая толща к северу от г. Петропавловска).

В 1946 г. Академией Наук СССР по инициативе А. Н. Заварицкого была организована большая экспедиция на Камчатку, которая, помимо наземных геолого-вулканологических исследований (в том числе исследований Г. С. Горшкова на Курильских о-вах), произвела впервые современную аэрофотосъемку всех действующих вулканов Камчатки. Данные этой съемки дали новый очень ценный материал по морфологии действующих вулканов, состоянии кратеров их, большинство которых, в том числе кратер Ключевской сопки, были сняты ортогонально, по расположению вулканов на местности, и т. п. Обработка этих данных, произведенная А. Н. Заварицким, составит предмет отдельной работы.

ЛИТЕРАТУРА

Бюллетень Вулканологической станции на Камчатке, № 1—16. Изд. АН СССР, 1936—1949.

Бюллетень Вулканологической станции, № 17—19. Изд. АН СССР, 1953.

Гипсометрическая карта СССР в масштабе 1 : 2 500 000. Изд. ГУГК. М., 1949.

Двали М. Ф. Геологическое пересечение Камчатского Срединного хребта через Красную сопку. Тр. Нефт. ГРИ, сер. А, вып. 122, 1939.

Дитмар К. Поездки и пребывание в Камчатке в 1851—1855 гг. СПб., 1901.

Дьяков Б. Ф. О меловых отложениях полуострова Камчатки. Проблемы сов. геол., 1935, № 12.

Заварицкий А. Н. Некоторые вулканические породы окрестностей Ключевской сопки на Камчатке. Зап. Мин. об-ва, 1931, ч. 60, № 2.

Заварицкий А. Н. Вулкан Авача на Камчатке и его состояние летом 1931 г. Тр. ЦНИГРИ, вып. 36, 1935.

Заварицкий А. Н. Северная группа вулканов Камчатки. Тр. СОПС АН СССР, сер. камч., вып. 1, 1935.

Заварицкий А. Н. О вулканах Камчатки. Камч. сб., т. 1, 1940.

Келль Н. Г. Карта вулканов Камчатки. Изд. Географ. об-ва, Л., 1923.

Конради С. А. и Келль Н. Г. Геологический отдел Камчатской экспедиции 1908—1911 гг. Изв. ГГО, 1925, т. 57, вып. 1.

Крашенинников С. П. Описание земли Камчатки. I изд., 1755; IV изд., 1949.

Кулаков В. С. Паразитные кратеры, возникшие в 1932 г. у подножия Ключевского вулкана на Камчатке. Зап. Ленинград. горн. ин-та, т. VIII, 1934.

Кулаков В. С. Гавайский тип вулканов на Камчатке. Природа, 1936, № 10.

Маренина Т. Ю. История образования и извержений вулкана Хангар (автореферат канд. диссерт.). Изд. ЛГУ, 1952.

Машковцев С. Ф. и Чурин П. В. Материалы к геологии и петрографии Северной Камчатки. Тр. ГГРУ, вып. 59, 1931.

Новограбленов П. Т. и Чирвинский П. Н. Авачинский вулкан на Камчатке, его извержения в 1926 и 1927 гг. и петрографическая характеристика продуктов извержения. Изв. Донск. политехн. ин-та, т. XIV, 1930.

Пийп Б. И. Термальные ключи Камчатки. Тр. СОПС АН СССР, сер. камч., вып. 2, 1937.

Пийп Б. И. Материалы по геологии и петрографии района рек Авачи, Рассошины и Налачевы на Камчатке. Тр. Камч. компл. эксп., вып. 2, 1941.

Святловский А. Е. История новейшего вулканизма и образования рельефа в районе вулкана Бакенин (автореферат канд. диссерт.). Изд. ЛГУ, 1952.

Трошин А. Н. и Дягилев Г. А. Извержение Авачинского вулкана. Природа, 1926, № 9—10.

Труды Камчатской вулканологической станции, вып. 1—3. Изд. АН СССР, 1940—1942.

Труды Лаборатории вулканологии и Камчатской вулканологической станции, вып. 4—6. Изд. АН СССР, 1947—1949.

Харкевич Д. С. Геолого-петрографические наблюдения в Ганальских Востряках. Тр. Камч. эксп. АН СССР, вып. 1, 1940.

Харкевич Д. С. Изверженные породы Срединного Камчатского хребта. Тр. Камч. эксп. АН СССР, вып. 1, 1940.

Щербаков А. В. Два геологических пересечения полуострова Камчатки. Тр. СОПС АН СССР, сер. камч., вып. 5, 1938.

Щербаков А. В. Маршрутные геологические исследования в Срединном хребте. Тр. Камч. эксп. АН СССР, вып. 1, 1940.

Bogdanowitsch K. Geologische Skizze von Kamtschatka. Peterm. Geogr. Mitt. B. 50, 1904.

Erman A. Reise um die Erde in den Jahren 1828—1830. Bd. III, Berlin, 1848.